

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004 年 9 月 30 日 (30.09.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/083494 A1

- (51) 国際特許分類⁷: C25F 3/00,
7/00, B23H 5/08, H01L 21/304, 21/306
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/003279
- (22) 国際出願日: 2004 年 3 月 12 日 (12.03.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2003-076500 2003 年 3 月 19 日 (19.03.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社 荏原製作所 (EBARA CORPORATION) [JP/JP]; 〒1448510 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 鍋谷 治 (NABEYA, Osamu) [JP/JP]; 〒1448510 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作所 内 Tokyo (JP). 斎

藤 孝行 (SAITO, Takayuki) [JP/JP]; 〒2518502 神奈川県藤沢市本藤沢 4 丁目 2 番 1 号 株式会社 荏原総合研究所 内 Kanagawa (JP). 鈴木 作 (SUZUKI, Tsukuru) [JP/JP]; 〒2518502 神奈川県藤沢市本藤沢 4 丁目 2 番 1 号 株式会社 荏原総合研究所 内 Kanagawa (JP). 當間 康 (TOMA, Yasushi) [JP/JP]; 〒2518502 神奈川県藤沢市本藤沢 4 丁目 2 番 1 号 株式会社 荏原総合研究所 内 Kanagawa (JP). 野路 郁太郎 (NOJI, Ikutaro) [JP/JP]; 〒1448510 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作所 内 Tokyo (JP).

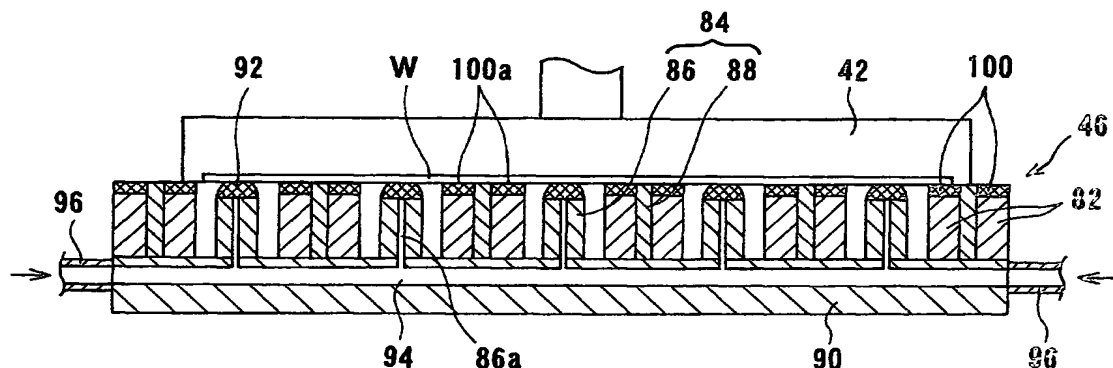
(74) 代理人: 渡邊 勇, 外 (WATANABE, Isamu et al.); 〒1600023 東京都新宿区西新宿 7 丁目 5 番 8 号 GOWA 西新宿 4 階 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,

[続葉有]

(54) Title: COMPOSITE MACHINING DEVICE AND METHOD

(54) 発明の名称: 複合加工装置及び方法



(57) Abstract: A composite machining device for reliably machining a conductive material such as a copper film with a low surface pressure and with a high rate while effectively preventing, e.g., a pit. The composite machining device comprises a machining table (46) composed of a substrate holder (42) for holding a substrate (W), a machining section (82) for machining the surface of the substrate by a machining method including a mechanical action, and an electrochemical machining section (84) that has a machining electrode (86) with an ion exchanger (92) and is adapted to machine the substrate (W) by applying a voltage between the machining electrode (86) and the substrate (W) after bringing the ion exchanger (92) into contact with the substrate (W); a liquid supply unit (94) for supplying liquid into the space between the substrate (W) and the machining electrode (86) and the space between the substrate (W) and the machining section (82); and a drive unit for relatively moving the substrate (W) and the machining table (46).

(57) 要約: 本発明は、例えば銅膜等の導電性材料を、低面圧かつ高レートで、例えばピットの発生を効果的に防止しつつ、確実に加工できるようにした複合加工装置に関する。本発明の複合加工装置は、基板 (W) を保持する基板ホルダ (42) と、基板の表面を機械的作用を含む加工方法で加工する機械的加工部 (82) と、イオン交換体 (92) を備えた加工電極 (86) を有し、イオン交換体 (92) を基板 (W) に接触させつつ加工電極 (86) と基板 (W) の間に電圧を印加して基板 (W) を加工する電解加工部 (84) とを個別に備えた加工テーブル (46) と、基板 (W) と加工電極 (86) の間、及び基板 (W) と機械的加工部 (82) の間に液体を供給する液体供給部 (94) と、基板 (W) と加工テーブル (46) とを相対移動させる駆動部を備えている。



ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY,

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

複合加工装置及び方法

技術分野

本発明は、複合加工装置及び方法に係り、特に半導体ウエハ等の基板表面に設けた配線用の微細な凹部に埋込んだ銅等の導電体（導電性材料）の表面を平坦化して埋込み配線を形成するのに使用される複合加工装置及び方法に関する。

背景技術

近年、半導体ウエハ等の基板上に回路を形成するための配線材料として、アルミニウム又はアルミニウム合金に代えて、電気抵抗率が低くエレクトロマイグレーション耐性が高い銅（Cu）を用いる動きが顕著になっている。この種の銅配線は、基板の表面に設けた微細凹みの内部に銅を埋め込むことによって一般に形成される。この銅配線を形成する方法としては、化学気相成長法（CVD：Chemical Vapor Deposition）、スパッタリング及びめっきといった手法があるが、いずれにしても、基板のほぼ全表面に銅を成膜して、化学機械的研磨（CMP：Chemical Mechanical Polishing）により不要の銅を除去するようにしている。

図1A乃至図1Cは、この種の銅配線基板Wの一製造例を工程順に示す。図1Aに示すように、半導体素子が形成された半導体基材1上の導電層1aの上にSiO₂からなる酸化膜やLow-k材膜などの絶縁膜2が堆積され、リソグラフィ・エッチング技術によりコンタクトホール3と配線溝（トレンチ）4が形成される。これらの上にTa₂N₅等からなるバリア膜5、更にその上に電解めっきの給電層としてシード層7がスパッタリングやCVD等により形成される。

そして、基板Wの表面に銅めっきを施すことで、図1Bに示すように、コンタクトホール3及び配線溝4内に銅を充填するとともに、絶縁膜2上に銅膜6を堆積する。その後、化学機械的研磨（CMP）により、絶縁膜2上の銅膜6、シード層7及びバリア膜5を除去して、コンタクトホール3及び配線溝4に充填させた銅膜6の表面と絶縁膜2の表面とをほぼ同一平面にする。これにより、図1Cに示すように銅膜6からな

る配線が形成される。

また、最近ではあらゆる機器の構成要素において微細化かつ高精度化が進み、サブミクロン領域での物作りが一般的となるにつれて、加工法自体が材料の特性に与える影響は益々大きくなっている。このような状況下においては、従来の機械加工のように、工具が被加工物を物理的に破壊しながら除去していく加工方法では、加工によって被加工物に多くの欠陥を生み出してしまうため、被加工物の特性が劣化してしまう。したがって、いかに材料の特性を損なうことなく加工を行うことができるかが問題となってくる。

この問題を解決する手段として開発された特殊加工法に、化学研磨や電解加工、電解研磨がある。これらの加工方法は、従来の物理的な加工とは対照的に、化学的或いは電気化学的溶解反応を起こすことによって、除去加工等を行うものである。したがって、塑性変形による加工変質層や転位等の欠陥は発生せず、上述の材料の特性を損なわずに加工を行うといった課題が達成される。

電解加工として、イオン交換体を使用したものが開発されている。これは、被加工物の表面に、加工電極に取付けたイオン交換体と、給電電極に取付けたイオン交換体とを接触乃至近接させ、加工電極と給電電極との間に電源を介して電圧を印加しつつ、加工電極及び給電電極と被加工物との間に液体供給部から超純水等の液体を供給して、被加工物の表面層の除去加工を行うようにしたものである。

しかしながら、従来のイオン交換体を用いた電解加工では、イオン交換体で被加工物の取込みを行っており、このため、イオン交換体の内部に取込まれる被加工物の単位時間当たりの取込み量に限界があるばかりでなく、イオン交換体の再生や取換え作業等が必要となって、スループットが低下してしまう。また、例えば、イオン交換体と電極（加工電極及び給電電極）を用いた銅膜の電解加工（研磨）では、イオン交換体が直接銅を取込むと考えられているが、電解加工中、銅膜表面に Cu_2O や CuO 等の不動態膜が形成されることがあり、この不動態膜は物理的に柔らかく、かつ非導電性のため、電解加工では除去効率が悪い。更に、被加工物の種類や加工条件などによっては、加工した面にピット（微小な穴）が形成されることがあるといった問題があった。

また、例えば、CMP工程は、一般にかなり複雑な操作が必要で、制

御も複雑となり、加工時間もかなり長い。更に、研磨後の基板の後洗浄を十分に行う必要があるばかりでなく、スラリーや洗浄液の排液処理のための負荷が大きい等の課題がある。このため、CMP自体を省略乃至この負荷を軽減することが強く求められていた。今後、絶縁膜も誘電率の小さいLow-k材に変わると予想され、Low-k材にあつては、強度が弱くCMPによるストレスに耐えられなくなるため、基板にストレスを与えることなく、非接触で平坦化できるようにしたプロセスが望まれている。

なお、化学機械的電解研磨のように、めっきをしながらCMPで削るというプロセスも発表されているが、めっき成長面に機械加工が付加されることで、めっきの異常成長を促すことにもなり、膜質に問題を起こしていた。

また、前述した従来の電解加工や電解研磨では、被加工物と電解液(NaCl, NaNO₃, HF, HCl, HNO₃, NaOH等の水溶液)との電気化学的相互作用によって加工が進行するとされているが、その目的とするのは光沢面や鏡面の形成であり、サブミクロンレベルの均一或いは平坦な表面を形成する目的を満足するものではない。砥粒を電解液に混合しスラリーとして電解研磨する複合電解研磨も同様である。

発明の開示

本発明は、上記事情に鑑みてなされたもので、例えば銅膜等の導電性材料を、低面圧かつ高レートで、例えばピットの発生を効果的に防止しつつ、確実に加工できるようにした複合加工装置及び方法を提供することを第1の目的とする。

また、本発明は、例えばCMP処理そのものを省略したり、CMP処理の負荷を極力低減しつつ、基板表面に設けられた導電性材料を平坦に加工したり、更には基板等の被加工物の表面に付着した付着物を除去(洗浄)できるようにした複合加工装置及び方法を提供することを第2の目的とする。

上記目的を達成するため、本発明の複合加工方法は、基板を保持する基板ホルダと、基板の表面を機械的作用を含む加工方法で加工する機械的加工部と、イオン交換体を備えた加工電極を有し、該イオン交換体を基板に接触させつつ前記加工電極と基板の間に電圧を印加して基板を

加工する電解加工部とを個別に備えた加工テーブルと、基板と前記加工電極の間、及び基板と前記機械的加工部の間に液体を供給する液体供給部と、基板と前記加工テーブルとを相対移動させる駆動部を備えたことを特徴とする。

これにより、電解加工部による加工で基板の表面に形成された、物理的に柔らかく、かつ非導電性の不動態膜を機械的加工部で削り落とし、再び電解加工での加工を連続で繰返すことで、低面圧、高レートでの加工が可能となる。また、機械的加工部で基板表面を機械的に加工することで、基板の表面に付着した気泡も不動態膜と同時に除去して、気泡の付着に伴うピットの発生を防止することができる。

本発明の好ましい一態様は、基板と前記加工テーブルが相対移動する時、前記加工電極が前記基板ホルダで保持された基板の被加工部位を通過し、該被加工部位を前記機械的加工部が続けて通過することを特徴とする。

これにより、電解加工部による電解加工と機械的加工部による機械的加工とを、交互かつ連続して行うことができる。

前記加工電極に続けて前記機械的加工部が基板の被加工部位を通過する時間は、1秒以内であることが好ましい。

これにより、例えば電解加工部の加工電極で基板の表面に形成された不動態膜を、機械的加工部による機械的加工で素早く除去して、基板の表面を平坦化することができる。

前記機械的加工部は、例えば、固定砥粒からなる加工面を有する。

これにより、加工液として砥粒を含んだスラリーを必要とせず純水のみを用いて、電解加工部による電解加工と機械的加工部による機械的加工を同時に行って、電解加工と固定砥粒による機械的加工の両方のメリットを得ることができ、基板の洗浄などの後処理、排液処理が容易になる。

前記機械的加工部は、研磨パッドからなる加工面と、該加工面にスラリーを供給するスラリー供給部を有するものであってもよい。

本発明の好ましい一態様は、前記加工テーブルには、前記加工電極と基板に給電する給電電極とが交互かつ所定間隔離間して配置され、前記加工電極を挟む位置に前記機械的加工部が配置されていることを特徴とする。

前記加工テーブルは、スクロール運動を行うことが好ましい。

本発明の好ましい一態様は、前記加工テーブルは円板状に形成され、前記加工電極は、半径方向に延びて配置され、該加工電極を挟む両側に基板に給電する給電電極が配置されていることを特徴とする。

本発明の他の複合加工装置は、基板を保持する基板ホルダと、砥粒を内部に有する固定砥粒により基板の表面を機械的作用を含む加工方法で研磨する固定砥粒加工部と、加工電極を有し、前記加工電極と基板の間に電圧を印加して基板を加工する電解加工部とを個別に備えた加工テーブルと、基板と前記加工テーブルとを相対運動させる駆動部と、基板と前記加工電極の間、及び基板と前記固定砥粒の間に液体を供給する液体供給部を備えたことを特徴とする。

本発明の複合加工方法は、基板の表面を機械的作用を含む加工方法で加工する機械的加工部と、イオン交換体を備えた加工電極を有し、該イオン交換体を基板に接触させつつ前記加工電極と基板の間に電圧を印加して基板を加工する電解加工部とを個別に備え、基板と前記機械的加工部及び前記加工電極とを相対移動させて基板表面の加工を行うことを特徴とする。

本発明の更に他の複合加工装置は、被加工物を保持するホルダと、砥粒を内部に有する固定砥粒により被加工物の表面を機械的作用を含む加工方法で加工する固定砥粒加工部と、被加工物に近接自在な加工電極と被加工物に給電する給電電極とを有し、前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加して被加工物を加工する電解加工部と、前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加する電源と、被加工物と前記加工電極及び／又は前記給電電極との間、及び／又は被加工物と前記固定砥粒加工部の間に液体を供給する液体供給部と、被加工物と前記固定砥粒加工部、及び被加工物と前記電解加工部を相対移動させる駆動部を備えたことを特徴とする。

図 2 は、本発明の加工原理を示す。図 2 は、被加工物 10 の表面に固定砥粒加工部 12 の固定砥粒 14 を接触させて配置し、近接自在な加工電極 16 と給電電極 18 を有する電解加工部 20 の該加工電極 16 を被加工物 10 の表面に近接させ、給電電極 18 を被加工物 10 の表面に接触させて配置し、加工電極 16 と給電電極 18 との間に電源 22 を介して電圧を印加しつつ、加工電極 16 及び給電電極 18 と被加工物 10

との間に液体供給部 24 から電解液等の液体 26 を供給した状態を示している。この場合、液体 26 は、例えば通常の電解加工等で用いられている電解液であり、特に濃度や電解液の種類等の制約はなく、被加工物 10 により適時選定すれば良い。

そして、加工電極 16、給電電極 18 及び固定砥粒 14 の少なくとも 1 つ以上と被加工物 10 のどちらか一方を運動させるか、或いは双方を運動させる。これにより、固定砥粒 14 と接触する被加工物 10 の表面が機械的に研磨され、加工電極 16 と対面する被加工物 10 の表面が電解加工されて、固定砥粒加工部 12 による機械的研磨と、電解加工部 20 による電気化学的加工が同時に行われる。

従来の砥粒を含むスラリー状の電解液を用いる複合電解研磨では、電解処理後に被加工物に付着した砥粒等の不純物を除去するため大掛かりな洗浄が必要であるが、本発明では、内部に砥粒を有する固定砥粒 14 を用いることで、洗浄の負荷を極めて少なくすることができる。

本発明の好ましい一態様は、前記加工電極及び／又は前記給電電極は、被加工物との間に配置されるイオン交換体を備えていることを特徴とする。

図 3 A は、加工電極 16 の被加工物 10 側の表面にイオン交換体 28 a を、給電電極 18 の被加工物 10 側の表面にイオン交換体 28 b をそれぞれ取付け、これらのイオン交換体 28 a, 28 b を被加工物 10 の表面にそれぞれ接触させた状態を示している。図 3 B は、加工電極 16 の被加工物 10 側の表面にのみイオン交換体 28 a を取付け、このイオン交換体 28 a と給電電極 18 を被加工物 10 の表面に接触させた状態を示している。そして、前述とほぼ同様に、加工電極 16 と給電電極 18 との間に電源 22 を介して電圧を印加しつつ、加工電極 16 及び給電電極 18 と被加工物 10 との間に、この場合にあつては、超純水等の液体 26 を液体供給部 24 から供給し、同時に、例えば被加工物 10 を移動することで、固定砥粒加工部 12 の固定砥粒 14 による機械的研磨と、電解加工部 20 の加工電極 16 による電気化学的加工が同時に行われる。

このように、必要に応じて、加工電極 16 にイオン交換体 28 a を取付けたり、給電電極 18 にイオン交換体 28 b を取付けたりすることで、イオン交換体 28 a, 28 b を介して、水分子の水素イオンと水酸化物

イオンへの解離を促進して水分子の解離量を増大させ、これによって、液体として超純水等を使用した電解加工を行うことができる。

本発明の好ましい一態様は、被加工物と前記固定砥粒加工部、及び被加工物と前記電解加工部が相対移動する時、前記固定砥粒加工部が前記ホルダで保持された被加工物の被加工部位を通過し、該被加工部位を前記電解加工部が続けて通過することを特徴とする。

これにより、固定砥粒による機械的研磨で被加工物表面に発生したスクラッチやピット等の欠陥を、電解加工で解消することができる。

本発明の好ましい一態様は、表面粗さの異なる固定砥粒を有する、少なくとも2種類以上の前記固定砥粒加工部を有することを特徴とする。

これにより、例えば、加工が進むに従って、表面粗さの荒い固定砥粒を有する固定砥粒加工部による加工から、表面粗さの細かい固定砥粒を有する固定砥粒加工部による加工に切換えることで、スクラッチのない加工表面を得ることができる。

前記固定砥粒の表面粗さは、 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

固定砥粒による機械的研磨では、被加工物表面に深さのあるスクラッチやピット等の欠陥が発生し、これらの欠陥は、電解加工で解消できる範囲のものであることが望まれる。例えば 10 psi (69 kPa)の面圧で、表面粗さが $10\text{ }\mu\text{m}$ の固定砥粒を使用した研磨を行った場合、銅表面に与えるスクラッチの深さは $0.3\sim0.5\text{ }\mu\text{m}$ 程度であり、同じ面圧で、表面粗さが $5\text{ }\mu\text{m}$ の固定砥粒を使用した研磨を行った場合のスクラッチの深さは $0.2\sim0.3\text{ }\mu\text{m}$ 程度であることが分かっている。電解加工を併用することで解消できるスクラッチの深さは $0.3\text{ }\mu\text{m}$ 前後であり、好ましくは $0.3\text{ }\mu\text{m}$ 以下である。したがって、固定砥粒による機械的研磨で可能な限り均一な研磨を行い、電解加工で更に清浄な表面を得るためには、固定砥粒に含まれる砥粒の粒径は $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることが望ましい。

前記液体としては、純水、電気伝導度が $500\text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の液体又は電解液が使用される。

ここで、純水は、例えば電気伝導度 (1 atm , 25°C 換算、以下同じ) が $10\text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の水である。純水、より好ましくは $0.1\text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下にした液体 (超純水等) を使用することで、被加工物表面とイオン交換体等の界面にイオンの移動を防ぐ一様な抑制作用を有す

る層を形成し、これによって、イオン交換（金属の溶解）の集中を緩和して平坦性を向上させることができる。

このように、純水等を使用して電解加工を行うことで、加工面に不純物を残さない清浄な加工を行うことができ、これによって、電解加工後の洗浄工程を簡素化することができる。

前記加工電極と被加工物との間、及び前記給電電極と被加工物の間にイオン交換体が個別に配置されていることが好ましい。

これにより、加工電極と給電電極との間で、いわゆる短絡が生じることを防止して、加工効率を高めることができる。

前記加工電極、前記給電電極及び前記固定砥粒の少なくとも1つと被加工物との間に加えられる力が、10 p s i（69 k P a）以下であることを特徴とする。

電極（加工電極及び給電電極）や固定砥粒に加えられた力は、被加工物の面圧となって示される。特に、加工電極と被加工物の間、或いは固定砥粒と被加工物の間の面圧により、加工速度や加工形状が左右され、銅配線のように比較的柔らかい金属やポーラス状のLow-k材にあっては、面圧を小さくしてスクラッチが起こり難くすることが望まれる。

本発明は、スクラッチが起こりにくい電解加工（電気化学的加工）が主であり、固定砥粒による機械的加工は、被加工物表面に塵細なキズを与えるという補助的な手段として用いている。このため、固定砥粒による機械的研磨を期待するものではない。つまり、固定砥粒による機械的加工で、被加工物の表面全体に塵細な傷を与えることにより、電解加工での電界の局所的な集中を緩和させて、均一化した平坦性の高い加工が可能となる。

被加工物に与えるスクラッチの深さは、固定砥粒の表面の粗さと面圧によって決定され、前述のように、10 p s i以下の面圧で、表面粗さが10 μ m以下の固定砥粒を使用した研磨を行うことで、銅表面に与えるスクラッチの深さを0.3～0.5 μ m程度以下とすることができる。

本発明の好ましい一態様は、前記固定砥粒加工部及び／又は前記電解加工部は、被加工物に近接又は離間するように移動することを特徴とする。

この場合、例えば前記固定砥粒加工部を接触させて被加工物を加工した後、前記電解加工部のみで被加工物を加工するように前記固定砥粒加

工部及び／又は前記電解加工部を動かす。

本発明の更に他の複合加工装置は、被加工物を保持するホルダと、被加工物の表面を機械的作用を含む加工方法で加工する機械的加工部と、イオン交換体を備え、被加工物に近接自在な加工電極と、被加工物に給電する給電電極とを有し、前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加して被加工物を加工する電解加工部と、被加工物と前記電解加工部の間、及び／又は被加工物と前記機械的加工部の間に液体を供給する液体供給部と、被加工物と前記機械的加工部、及び被加工物と前記電解加工部を相対移動させる駆動部を備えたことを特徴とする。

本発明の他の複合加工方法は、砥粒を内部に有する固定砥粒により被加工物の表面を機械的作用を含む加工方法で加工する固定砥粒加工部と、加工電極と給電電極とを有し該加工電極と給電電極との間に電圧を印加して被加工物を加工する電解加工部と備え、被加工物と前記固定砥粒加工部、及び被加工物と前記電解加工部を相対移動させて被加工物表面の加工を行うことを特徴とする。

前記固定砥粒加工部を接触させて被加工物を加工した後、前記電解加工部のみで被加工物を加工するようにしてもよい。

本発明の更に他の複合加工方法は、被加工物の表面を機械的作用を含む加工方法で加工する機械的加工部と、イオン交換体を備えた加工電極を有し、該イオン交換体を被加工物に接触させつつ前記加工電極と被加工物の間に電圧を印加して被加工物を加工する電解加工部とを備え、被加工物と前記機械的加工部、及び被加工物と前記電解加工部を相対移動させて被加工物表面の加工を行うことを特徴とする。

図面の簡単な説明

図 1 A 乃至 1 C は、銅配線基板の一製造例を工程順に示す図である。

図 2 は、被加工物の表面に、固定砥粒を備えた固定砥粒加工部と電解加工部とを配置して加工を行う基本的構成を示す図である。

図 3 A は、被加工物の表面に、加工電極と給電電極にイオン交換体をそれぞれ取付けて構成した加工電極部と、固定砥粒を備えた固定砥粒加工部とを配置して加工を行う基本的構成を示す図である。

図 3 B は、被加工物の表面に、加工電極のみにイオン交換体を取付けて構成した加工電極部と、固定砥粒を備えた固定砥粒加工部とを配置し

て加工を行う基本的構成を示す図である。

図 4 は、本発明の実施の形態における複合加工装置を備えた基板処理装置の構成を示す平面図である。

図 5 は、図 4 に示す基板処理装置の複合加工装置を模式的に示す平面図である。

図 6 は、図 5 の縦断面図である。

図 7 A は、図 5 の複合加工装置における自転防止機構を示す平面図である。

図 7 B は、図 7 A の A-A 線断面図である。

図 8 は、図 5 に示す複合加工装置における要部を拡大して示す要部拡大図である。

図 9 は、図 5 に示す複合加工装置における加工時の要部を拡大して示す要部拡大図である。

図 10 A は、異なる材料を成膜した基板の表面に電解加工を施したときに流れる電流と時間の関係を示すグラフである。

図 10 B は、異なる材料を成膜した基板の表面に電解加工を施したときに印加される電圧と時間の関係を示すグラフである。

図 11 は、本発明の他の実施の形態における複合加工装置を模式的に示す断面図である。

図 12 は、図 11 に示す複合加工装置の加工テーブルの平面図である。

図 13 は、本発明の更に他の実施の形態における複合加工装置を備えた基板処理装置の構成を示す平面図である。

図 14 は、図 13 に示す基板処理装置の複合加工装置を模式的に示す断面図である。

図 15 は、図 14 に示す複合加工装置の加工テーブルの平面図である。

図 16 は、図 15 の円周方向に沿った断面図である。

図 17 は、加工テーブルの他の例を示す平面図である。

図 18 は、加工テーブルの更に他の例を示す平面図である。

図 19 は、本発明の更に他の実施の形態における複合加工装置を示す斜視図である。

図 20 は、図 19 に示す複合加工装置の加工テーブルの平面図である。

図 21 は、実施例 1 及び実施例 2 におけるウェハ位置と除去量との関係を比較例と共に示すグラフである。

図 2 2 は、実施例 1 及び実施例 2 における加工後のウエハ表面をレーザ顕微鏡で観察した結果を示す写真である。

図 2 3 は、実施例 3 及び実施例 4 における機械的研磨加工後、及び電解加工後のウエハ表面をレーザ顕微鏡により観察した結果を示す写真である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。なお、以下の例では、被加工物として基板を使用し、複合加工装置で基板を加工（研磨）するようにした例を示しているが、基板以外にも適用できることは勿論である。

図 4 は、本発明の第 1 の実施の形態における複合加工装置を備えた基板処理装置の構成を示す平面図である。図 4 に示すように、この基板処理装置は、例えば、図 1 B に示す、表面に導電体膜（被加工部）としての銅膜 6 を有する基板 W を収納したカセットを搬出入する搬出入部としての一对のロード・アンロード部 3 0 と、基板 W を反転させる反転機 3 2 と、複合加工装置 3 4 とを備えている。これらの機器は直列に配置されており、これらの機器の間で基板 W を搬送して授受する搬送装置としての搬送ロボット 3 6 がこれらの機器と平行に配置されている。また、複合加工装置 3 4 による加工の際に、後述する加工電極と給電電極との間に印加する電圧又はこれらの間を流れる電流をモニタするモニタ部 3 8 がロード・アンロード部 3 0 に隣接して配置されている。

図 5 は、本発明の実施の形態における複合加工装置を模式的に示す平面図、図 6 は、図 5 の縦断面図である。図 5 及び図 6 に示すように、この実施の形態における複合加工装置 3 4 は、上下動可能かつ水平面に沿って往復運動可能なアーム 4 0 と、アーム 4 0 の自由端に垂設されて、表面（被処理面）を下向き（フェースダウン）にして基板 W を吸着保持する基板ホルダ 4 2 と、アーム 4 0 が取付けられる可動フレーム 4 4 と、矩形状の加工テーブル 4 6 と、加工テーブル 4 6 に備えられた下記の加工電極 8 6 及び給電電極 8 8 に接続される電源 4 8 とを備えている。この実施の形態では、加工テーブル 4 6 の大きさは、基板ホルダ 4 2 で保持する基板 W の外径よりも一回り大きな大きさに設定されている。

可動フレーム 4 4 の上部には上下動用モータ 5 0 が設置されており、

この上下動用モータ 50 には上下方向に延びるボールねじ 52 が連結されている。ボールねじ 52 にはアーム 40 の基部 40a が取付けられており、上下動用モータ 50 の駆動に伴ってアーム 40 がボールねじ 52 を介して上下動するようになっている。また、可動フレーム 44 自体も、水平方向に延びるボールねじ 54 に取付けられており、往復動用モータ 56 の駆動に伴って可動フレーム 44 及びアーム 40 が水平面に沿って往復運動するようになっている。

基板ホルダ 42 は、アーム 40 の自由端に設置された自転用モータ 58 に接続されており、この自転用モータ 58 の駆動に伴って回転（自転）できるようになっている。また、上述したように、アーム 40 は上下動及び水平方向に往復運動可能となっており、基板ホルダ 42 はアーム 40 と一体となって上下動及び水平方向に往復運動可能となっている。

また、加工テーブル 46 の下方には中空モータ 60 が設置されており、この中空モータ 60 の主軸 62 には、この主軸 62 の中心から偏心した位置に駆動端 64 が設けられている。加工テーブル 46 は、その中央において上記駆動端 64 に軸受（図示せず）を介して回転自在に連結されている。また、加工テーブル 46 と中空モータ 60 との間には、周方向に 3 つ以上の自転防止機構が設けられている。これによって、中空モータ 60 の駆動により加工テーブル 46 がスクロール運動（並進回転運動）を行うようになっている。

図 7A は、この実施の形態における自転防止機構を示す平面図、図 7B は、図 7A の A-A 線断面図である。図 7A 及び図 7B に示すように、加工テーブル 46 と中空モータ 60 との間には、周方向に 3 つ以上（図 7A においては 4 つ）の自転防止機構 66 が設けられている。図 7B に示すように、中空モータ 60 の上面と加工テーブル 46 の下面の対応する位置には、周方向に等間隔に複数の凹所 68, 70 が形成されており、これらの凹所 68, 70 にはそれぞれ軸受 72, 74 が装着されている。軸受 72, 74 には、距離 “e” だけずれた 2 つの軸体 76, 78 の一端部がそれぞれ挿入されており、軸体 76, 78 の他端部は連結部材 80 により互いに連結される。ここで、中空モータ 60 の主軸 62 の中心に対する駆動端 64 の偏心量も上述した距離 “e” と同じになっている。したがって、加工テーブル 46 は、中空モータ 60 の駆動に伴って、主軸 62 の中心と駆動端 64 との間の距離 “e” を半径とした、自転を行

わない公転運動、いわゆるスクロール運動（並進回転運動）を行うようになっている。

次に、この実施の形態における加工テーブル46について説明する。図5に示すように、この実施の形態における加工テーブル46は、複数の機械的加工部82と、電解加工部84を構成する複数の加工電極86及び給電電極88を備えている。図8は、加工テーブル46の縦断面図である。図8に示すように、加工テーブル46は、平板状のベース90を備えており、このベース90の上面に、X方向（図5参照）に沿って延びる複数の加工電極86と給電電極88が、所定間隔離間して交互に配置されている。そして、加工電極86を挟む給電電極88の両側に、X方向（図5参照）に沿って延びる複数の機械的加工部82が配置されている。各加工電極86の上面は、断面半円状のイオン交換体92で覆われている。

前述の加工テーブル46のスクロール運動の回転半径“ e ”は、この例では、加工電極86と給電電極88との距離 B に等しく、加工電極86と該加工電極86に隣接する機械的加工部82までの距離 S_1 よりも長く（ $B = e > S_1$ ）設定されている。これによって、加工電極86が通過したところを機械的加工部82が連続して通過できるようになっている。

また、1つの加工電極86について考えると、電解加工においては、基板 W が加工電極86の表面のイオン交換体92と接触又は近接した範囲でのみ加工が行われ、加工電極86の端部には電界が集中するため、加工電極86の幅方向の端部付近の加工レートは、中央付近に比べて高くなる。

このように、1つの加工電極86において加工量のバラツキが生じるが、この実施の形態では、上述したように、加工テーブル46をスクロール運動させ、基板 W と加工電極86とをY方向（図5参照）に往復相対運動させることにより、この加工量のバラツキを抑えている。つまり、スクロール運動によって加工量のバラツキを少なくすることができるものの、完全にバラツキをなくすことはできない。

この実施の形態では、上述したスクロール運動（第1の相対運動）に加えて、電解加工中に基板ホルダ42をY方向（図5参照）に所定の距離だけ移動させて、基板 W と加工電極86との間で第2の相対運動を行

うことにより、上述した加工量のバラツキをなくしている。すなわち、スクロール運動（第1の相對運動）のみを行った場合には、基板WのY方向に沿って加工量に差が生じ、同一形状の加工量分布が、加工電極86のピッチP（図8参照）ごとに現れるが、電解加工中に、往復動用モータ56を駆動させてアーム40及び基板ホルダ42をY方向にピッチPの整数倍だけ移動させて、基板Wと加工電極86との間で第2の相對運動を行くことで、基板Wの全面を均一に加工することが可能となる。この場合において、第2の相對運動の移動速度は一定であることが好ましい。

ここで、上述した第2の相對運動を繰り返し、基板Wを加工電極86に対してY方向に往復運動させてもよい。この場合において、往路と復路の移動距離は、共に上述したピッチPの整数倍とする必要があるが、往路の移動距離と復路の移動距離を必ずしも等しくする必要はなく、互いに異なってもよい。例えば、往路の移動距離をピッチPの2倍とし、復路の移動距離をピッチPの等倍としてもよい。

前記イオン交換体92は、例えば、アニオン交換基又はカチオン交換基を付与した不織布で構成されている。カチオン交換体は、好ましくは強酸性カチオン交換基（スルホン酸基）を担持したものであるが、弱酸性カチオン交換基（カルボキシル基）を担持したものでもよい。また、アニオン交換体は、好ましくは強塩基性アニオン交換基（4級アンモニウム基）を担持したものであるが、弱塩基性アニオン交換基（3級以下のアミノ基）を担持したものでもよい。また、イオン交換体92の素材の材質としては、ポリエチレン、ポリプロピレン等のポリオレフィン系高分子、又はその他有機高分子が挙げられる。また素材形態としては、不織布の他に、織布、シート、多孔質材、短繊維等が挙げられる。また、イオン交換体92の内部に不織布イオン交換体を配置して弾性を高めてもよい。

ここで、例えば強塩基アニオン交換基を付与した不織布は、繊維径20～50 μm で空隙率が約90%のポリオレフィン製の不織布に、 γ 線を照射した後グラフト重合を行ういわゆる放射線グラフト重合法により、グラフト鎖を導入し、次に導入したグラフト鎖をアミノ化して第4級アンモニウム基を導入して作製される。導入されるイオン交換基の容量は、導入するグラフト鎖の量により決定される。グラフト重合を行う

ためには、例えばアクリル酸、スチレン、メタクリル酸グリシジル、更にはスチレンスルホン酸ナトリウム、クロロメチルスチレン等のモノマーを用い、これらのモノマー濃度、反応温度及び反応時間を制御することで、重合するグラフト量を制御することができる。したがって、グラフト重合前の素材の重量に対し、グラフト重合後の増加重量の比をグラフト率と呼ぶが、このグラフト率は、最大で500%が可能であり、グラフト重合後に導入されるイオン交換基は、最大で5 meq/gが可能である。

強酸性カチオン交換基を付与した不織布は、上記強塩基性アニオン交換能を付与する方法と同様に、繊維径20～50 μm で空隙率が約90%のポリオレフィン製の不織布に、 γ 線を照射した後グラフト重合を行ういわゆる放射線グラフト重合法により、グラフト鎖を導入し、次に導入したグラフト鎖を、例えば加熱した硫酸で処理してスルホン酸基を導入して作製される。また、加熱したリン酸で処理すればリン酸基が導入できる。ここでグラフト率は、最大で500%が可能であり、グラフト重合後に導入されるイオン交換基は、最大で5 meq/gが可能である。

なお、イオン交換体92の素材の材質としては、ポリエチレン、ポリプロピレン等のポリオレフィン系高分子、又はその他有機高分子が挙げられる。また素材形態としては、不織布の他に、織布、シート、多孔質材、短繊維等が挙げられる。ここで、ポリエチレンやポリプロピレンは、放射線（ γ 線又は電子線）を先に素材に照射する（前照射）ことで、素材にラジカルを発生させ、次にモノマーと反応させてグラフト重合することができる。これにより、均一性が高く、不純物が少ないグラフト鎖ができる。一方、その他の有機高分子は、モノマーを含浸させ、そこに放射線（ γ 線、電子線、紫外線）を照射（同時照射）することで、ラジカル重合することができる。この場合、均一性に欠けるが、ほとんどの素材に適用できる。

このように、イオン交換体92をアニオン交換基又はカチオン交換基を付与した不織布で構成することで、純水、超純水または電解液等の液体が不織布の内部を自由に移動して、不織布内部の水分解触媒作用を有する活性点に容易に到達することが可能となつて、多くの水分子が水素イオンと水酸化物イオンに解離される。更に、解離によって生成した水

酸化物イオンが純水、超純水または電解液等の液体の移動に伴って効率良く加工電極 8 6 の表面に運ばれるため、低い印加電圧でも高電流が得られる。

この実施の形態では、加工電極 8 6 は電源 4 8 の陰極に、給電電極 8 8 は電源 4 8 の陽極にそれぞれ接続される。これは、例えば、銅を加工する場合においては、陰極側に電解加工作用が生じるためであり、加工材料によっては、給電電極に電源の陰極が、加工電極に陽極がそれぞれ接続される。すなわち、被加工材料が、例えば銅やモリブデン、鉄である場合には、陰極側に電解加工作用が生じるため、電源の陰極に接続した電極が加工電極となり、陽極に接続した電極が給電電極となる。一方、被加工材料が、例えばアルミニウムやシリコンである場合には、陽極側で電解加工作用が生じるため、電源の陽極に接続した電極が加工電極となり、陰極に接続した電極が給電電極となる。

このように、加工電極 8 6 と給電電極 8 8 とを加工テーブル 4 6 と直交する Y 方向（図 5 参照）に交互に設けることで、基板 W の導電体膜（被加工部）に給電を行う給電部を設ける必要がなくなり、基板 W の全面の加工が可能となる。また、加工電極 8 6 と給電電極 8 8 間に印加される電圧の正負をパルス状に変化させることで、電解生成物を溶解させ、加工の繰り返しの多重性によって平坦度を向上させることができる。

ここで、加工電極 8 6 及び給電電極 8 8 は、電解反応により、酸化又は溶出が一般に問題となる。このため、電極の素材として、電極に広く使用されている金属や金属化合物よりも、炭素、比較的不活性な貴金属、導電性酸化物又は導電性セラミックスを使用することが好ましい。この貴金属を素材とした電極としては、例えば、下地の電極素材にチタンを用い、その表面にめっきやコーティングで白金又はイリジウムを付着させ、高温で焼結して安定化と強度を保つ処理を行ったものが挙げられる。セラミックス製品は、一般に無機物質を原料として熱処理によって得られ、各種の非金属・金属の酸化物・炭化物・窒化物などを原料として、様々な特性を持つ製品が作られている。この中に導電性を持つセラミックスもある。電極が酸化すると電極の電気抵抗値が増加し、印加電圧の上昇を招くが、このように、白金などの酸化しにくい材料やイリジウムなどの導電性酸化物で電極表面を保護することで、電極素材の酸化による導電性の低下を防止することができる。

図 8 に示すように、加工テーブル 46 のベース 90 の内部には、基板 W の表面（被加工面）に加工液としての純水、より好ましくは超純水を供給するための流路 94 が形成されており、この流路 94 は、純水供給管 96 を介して純水供給源（図示せず）に接続されている。また、加工電極 86 の内部には、流路 94 に連通する貫通孔 86a が形成されており、この貫通孔 86a を介して純水、より好ましくは超純水（加工液）がイオン交換体 92 の内部に供給される。

ここで、純水は、例えば電気伝導度が $10 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の水であり、超純水は、例えば電気伝導度が $0.1 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の水である。このように電解質を含まない純水又は超純水を使用して電解加工を行うことで、基板 W の表面に電解質等の余分な不純物が付着したり、残留したりすることをなくすることができる。更に、電解によって溶解した銅イオン等が、イオン交換体 92 にイオン交換反応で即座に捕捉されるため、溶解した銅イオン等が基板 W の他の部分に再度析出したり、酸化されて微粒子となり基板 W の表面を汚染したりすることがない。

なお、純水又は超純水の代わりに、電気伝導度 $500 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の液体や、任意の電解液、例えば純水又は超純水に電解質を添加した電解液を使用してもよい。更に、純水又は超純水の代わりに、純水又は超純水に界面活性剤等を添加して、電気伝導度が $500 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、好ましくは、 $50 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、更に好ましくは、 $0.1 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下（比抵抗で $10 \text{M}\Omega \cdot \text{cm}$ 以上）にした液体を使用してもよい。

一方、機械的加工部 82 の上面には、この例では、固定砥粒からなる固定砥粒定盤 100 が貼着され、この固定砥粒定盤 100 の表面を加工面（研磨面）100a とすようになっている。ここで、固定砥粒は、例えばセリアやシリカ等の砥粒を、エポキシ樹脂等の熱硬化性樹脂、熱可塑性樹脂、MBS や ABS 等のコアシェル型樹脂等のバインダ中に固定し、金型で板状に成形したものである。この砥粒とバインダと空孔率の比率は、例えば、砥粒：バインダ：空孔率＝ $10 \sim 50\% : 30 \sim 80\% : 0 \sim 40\%$ （境界値を含む）である。固定砥粒の別形態としては、可撓性のシートの上に砥粒をバインダで薄く固着させたものなどを用いてもよい。

このような固定砥粒定盤 100 は、硬質の加工面 100a を構成しており、傷（スクラッチ）の発生を防止しつつ、安定した研磨速度が得ら

れ、しかも砥粒を含まない純水、または純水に界面活性剤等の添加剤を添加した液体を供給して加工（化学機械的研磨）を行うことで、高価で取扱いが面倒な研磨液の使用量を削減することができる。

ここで、加工に際して、基板に対向する全てのイオン交換体 9 2、給電電極 8 8 及び固定砥粒定盤 1 0 0 の加工面 1 0 0 a が基板 W に均一に接触することが理想的である。このため、給電電極 8 8 の上面と固定砥粒定盤 1 0 0 の加工面 1 0 0 a とが同一平面となり、かつイオン交換体 9 2 の上端のなす平面より少し低くなるように設定されている。これにより、図 9 に示すように、基板 W をイオン交換体 9 2 に押付けた後、基板 W は、給電電極 8 8 の上面及び固定砥粒定盤 1 0 0 の加工面 1 0 0 a に確実に接触し、しかも、基板 W をそれ以上押付けようとしても、その押圧力を給電電極 8 8 及び固定砥粒定盤 1 0 0 が受けるので、基板 W とイオン交換体 9 2 との接触面積は変化しない。このように、この実施の形態では、基板 W が傾くことが防止され、イオン交換体 9 2 の接触面積が均一になるので、均一な加工を実現することができる。

次に、この基板処理装置を用いた基板処理について説明する。まず、例えば、図 1 B に示すように、表面に導電体膜（被加工部）として銅膜 6 を形成した基板 W を収納したカセットを、ロード・アンロード部 3 0 にセットし、このカセットから 1 枚の基板 W を搬送ロボット 3 6 で取出す。搬送ロボット 3 6 は、取り出した基板 W を必要に応じて反転機 3 2 に搬送し、基板 W の導電体膜（銅膜 6）を形成した表面が下を向くように反転させる。

搬送ロボット 3 6 は、反転させた基板 W を受け取り、これを複合加工装置 3 4 に搬送し、基板ホルダ 4 2 に吸着保持させる。そして、アーム 4 0 を揺動させて基板 W を保持した基板ホルダ 4 2 を加工テーブル 4 6 の直上方の加工位置まで移動させる。次に、上下動用モータ 5 0 を駆動して基板ホルダ 4 2 を下降させ、この基板ホルダ 4 2 で保持した基板 W を加工テーブル 4 6 のイオン交換体 9 2 の表面に接触させ、更に下降させて、イオン交換体 9 2 の上部を潰しながら、給電電極 8 8 の上面及び固定砥粒定盤 1 0 0 の加工面 1 0 0 a に接触させる。

この状態で、自転用モータ 5 8 を駆動して基板 W を回転させながら、中空モータ 6 0 を駆動して加工テーブル 4 6 をスクロール運動させ、同時に往復動用モータ 5 6 を駆動して基板 W を往復運動させる。このとき、

加工電極 8 6 の貫通孔 8 6 a を通じて、純水又は超純水をイオン交換体 9 2 に供給し、これによって、イオン交換体 9 2 に純水又は超純水を含ませ、更に基板ホルダ 4 2 で保持した基板 W と加工テーブル 4 6 との間に純水又は超純水を満たす。この純水又は超純水は、ベース 9 0 の端部から外部に排出される。

そして、電源 4 8 により加工電極 8 6 と給電電極 8 8 との間に所定の電圧を印加し、イオン交換体 9 2 により生成された水素イオン又は水酸化物イオンによって、加工電極（陰極） 8 6 において、基板 W の表面の導電体膜（銅膜 6）の電解加工を行う。このとき、加工電極 8 6 と対面する部分において加工が進行するが、基板 W と加工電極 8 6 とを相対移動させることにより基板 W の全面の加工を行っている。同時に、機械的加工部 8 2 の固定砥粒定盤 1 0 0 の加工面 1 0 0 a を基板 W の表面の擦り付けることで、純水又は超純水の存在下で、基板 W の表面の導電体膜（銅膜 6）に固定砥粒による機械的加工を施す。

イオン交換体と電極（加工電極及び給電電極）を用いた銅膜の電解加工（研磨）では、イオン交換体が直接銅を取込むと考えられているが、電解加工中、銅膜表面に Cu_2O や CuO 等の不動態膜が形成されることがあり、この不動態膜は物理的に柔らかく、かつ非導電性のため、電解加工のみでは除去できないばかりでなく、加工した面にピット（微小な穴）が形成されることがある。この実施の形態の複合加工装置によれば、不動態膜が形成されても、固定砥粒を用いた機械的加工部 8 2 で不動態膜を削り落とし、再び電解加工部 8 4 での加工を連続して繰返すことができ、これによって、低面圧、高レート of 加工が可能となるばかりでなく、より平坦な被加工面を得ることができる。更に、機械的加工部 8 2 により、不動態膜だけでなく、基板 W に付着した、ピット発生の原因となると考えられる気泡も除去することができる。

この加工中には、加工電極 8 6 と給電電極 8 8 との間に印加する電圧、又はこの間を流れる電流をモニタ部 3 8 でモニタして、エンドポイント（加工終点）を検知する。すなわち、同じ電圧（電流）を印加した状態で電解加工を行うと、材料によって流れる電流（印加される電圧）に違いが生じる。例えば、図 1 0 A に示すように、表面に材料 B と材料 A とを順次成膜した基板 W の該表面に電解加工を施したときに流れる電流をモニタすると、材料 A を電解加工している間は一定の電流が流れるが、

異なる材料Bの加工に移行する時点で流れる電流が変化する。同様に、加工電極86と給電電極88との間に印加される電圧にあっても、図10Bに示すように、材料Aを電解加工している間は一定の電圧が印加されるが、異なる材料Bの加工に移行する時点で印加される電圧が変化する。なお、図10Aは、材料Bを電解加工するときの方が、材料Aを電解加工するときよりも電流が流れにくくなる場合を、図10Bは、材料Bを電解加工するときの方が、材料Aを電解加工するときよりも電圧が高くなる場合の例を示している。これにより、この電流又は電圧の変化をモニタすることでエンドポイントを確実に検知することができる。

なお、モニタ部38で加工電極86と給電電極88との間に印加する電圧、又はこの間を流れる電流をモニタして加工終点を検知するようにした例を説明したが、このモニタ部38で、加工中の基板の状態の変化をモニタして、任意に設定した加工終点を検知するようにしてもよい。この場合、加工終点は、被加工面の指定した部位について、所望の加工量に達した時点、又は加工量と相関関係を有するパラメータが所望の加工量に相当する量に達した時点を指す。このように、加工の途中においても、加工終点を任意に設定して検知できるようにすることで、多段プロセスでの電解加工が可能となる。

例えば、基板が異材料に達したときに生じる摩擦係数の違いによる摩擦力の変化や、基板の表面の凹凸を平坦化する際、凹凸を除去したことにより生じる摩擦力の変化等を検出することで加工量を判断し、加工終点を検出することとしてもよい。また、被加工面の電気抵抗による発熱や、加工面と被加工面との間に液体（純水）の中を移動するイオンと水分子の衝突による発熱が生じ、例えば基板の表面に堆積した銅膜を定電圧制御で電解研磨する際には、電解加工が進み、バリア膜や絶縁膜が露出するのに伴って、電気抵抗が大きくなり電流値が小さくなって発熱量が順に減少する。したがって、この発熱量の変化を検出することで加工量を判断し、加工終点を検出することとしてもよい。あるいは、異材料に達した時に生じる反射率の違いによる反射光の強度の変化を検出して、基板上の被加工膜の膜厚を検知し、これにより加工終点を検出してもよい。また、銅膜等の導電性膜の内部にうず電流を発生させ、基板の内部を流れるうず電流をモニタし、例えば周波数の変化を検出して、基板上の被加工膜の膜厚を検知し、これにより加工終点を検出してもよい。

更に、電解加工にあつては、加工電極と給電電極との間を流れる電流値で加工レートが決まり、加工量は、この電流値と加工時間の積で求められる電気量に比例する。したがって、電流値と加工時間の積で求められる電気量を積算し、この積算値が所定の値に達したことを検出することで加工量を判断し、加工終点を検出してもよい。

電解加工完了後、電源 4 8 の加工電極 8 6 及び給電電極 8 8 との接続を切り、基板ホルダ 4 2 の回転（自転）及び往復運動と、加工テーブル 4 6 のスクロール運動を停止させる。しかる後、基板ホルダ 4 2 を上昇させ、アーム 4 0 を移動させて基板 W を搬送ロボット 3 6 に受け渡す。基板 W を受け取った搬送ロボット 3 6 は、必要に応じて反転機 3 2 に搬送して反転させた後、基板 W をロード・アンロード部 3 0 のカセットに戻す。

ここで、イオン交換体 9 2 としては、通水性に優れたものを使用することがより好ましい。純水又は超純水がイオン交換体 9 2 を通過するように流すことで、水の解離反応を促進させる官能基（強酸性陽イオン交換材料ではスルホン酸基）に十分な水を供給して水分子の解離量を増加させ、水酸化物イオン（もしくは OH ラジカル）との反応により発生した加工生成物（ガスも含む）を水の流れにより除去して、加工効率を高めることができる。このような通水性を有する部材としては、例えば、通液性を有するスポンジ状の部材や、ナフィオン（デュポン社の商標）のような膜状部材に開孔を設けて通水性を持たせるようにしたものを使用することができる。

このように、機械的加工部 8 2 として、内部に砥粒を含有する固定砥粒を用いることにより、スラリーを供給することなく、純水のみを供給することで機械的加工部 8 2 による機械的研磨と電解加工部 8 4 による電解加工を行うことができる。これによって、電解加工と固定砥粒による機械的加工の両方のメリットを得ることができ、基板の洗浄などの後処理、排液処理が容易になる。しかも固定砥粒定盤 1 0 0 は、弾性変形しにくいいため、基板の凸部のみに接触させて、微細な凹凸パターンを有する被加工物の凸部を選択的に除去することができる。

更に、電解加工部 8 4 と機械的加工部 8 2 を別個に設けることにより、イオン交換体や固定砥粒、更には下記の研磨パッドなどの基板への接触部材として、電解加工部 8 4 と機械的加工部 8 2 の各々に適した部材を

用いることができる。また、加工面全体における電解加工部 8 4 と機械的加工部 8 2 の比率を任意に変えることができるため、基板に作用する電解加工と機械的加工の比率を変えることができ、より平滑な被加工面を得るために最適な装置構成にすることができる。

図 1 1 は、本発明の他の実施の形態の複合加工装置の縦断面図を、図 1 2 は、図 1 1 に示す複合加工装置の加工テーブルの平面図を示す。この実施の形態における複合加工装置 3 4 a の、前述の実施の形態における複合加工装置 3 4 と異なる点は、以下の通りである。

すなわち、この実施の形態の複合加工装置 3 4 a は、基板ホルダ 4 2 で保持される基板 W の直径の 2 倍以上の直径を有し、中空モータ 1 6 2 の駆動に伴って回転（自転）する加工テーブル 1 4 6 が備えられている。更に、加工テーブル 1 4 6 の上方に位置して、加工テーブル 1 4 6 の上面にスラリー（砥液）を供給するスラリー供給部としての砥液ノズル 1 7 4 が配置されている。

加工テーブル 1 4 6 は、円板状のベース 1 9 0 を備え、このベース 1 9 0 の上面には、機械的加工部 1 8 2 と、電解加工部 1 8 4 を構成する加工電極 1 8 6 及び給電電極 1 8 8 とが備えられており、スリップリング 1 7 8 を介して、電源 1 8 0 の陰極が加工電極 1 8 6 に、陽極が給電電極 1 8 8 にそれぞれ接続されるようになっている。更にこの加工電極 1 8 6 の上面は、イオン交換体 1 9 2 で覆われている。なお、この例では、給電電極 1 8 8 として、半径方向に沿って肉厚が一定の板状のものを使用しているが、扇状のものを使用してもよい。

このイオン交換体 1 9 2 で覆われた加工電極 1 8 6 は、図 1 2 に示すように、ベース 1 9 0 の半径方向に延びる扇状の形状を有し、円周方向に沿った所定のピッチで複数（図では 3 個）配置されており、この加工電極 1 8 6 の両側に給電電極 1 8 8 が配置されている。そして、ベース 1 9 0 の上面の加工電極 1 8 6 及び給電電極 1 8 8 を除く全領域に、この例では、研磨パッド 2 0 0 からなり、この上面を加工面 2 0 0 a とした機械的加工部 1 8 2 が設けられている。

この加工電極 1 8 6 の面積は、機械的加工部 1 8 2 の面積より小さくなるように設定され、また加工電極 1 8 6 を挟んで給電電極 1 8 8 を配置することで、加工電極 1 8 6 のイオン交換体 1 9 2 が基板 W に接触した時、給電電極 1 8 8 が必ず基板 W の表面に接触して給電できるように

なっている。なお、この例では、加工電極 188 で基板表面の研磨等の除去加工を行うことなく、基板表面を不動態膜化する加工（処理）を行うようになっている。

なお、市場で入手できる研磨パッド（研磨布）200 としては、例えば、ロデール社製の SUBA800、IC-1000 等が挙げられる。

基板 W を保持し自転用モータ 58 の駆動に伴って回転する基板ホルダ 42 は、揺動アーム 144 の自由端に保持され、この揺動アーム 144 は、上下動用モータ 160 の駆動に伴ってボールねじ 162 を介して上下動し、揺動用モータ 164 の駆動に伴って回転する揺動軸 166 の上端に連結されている。

この実施の形態にあつては、図 1 B に示す、表面に導電体膜（被加工部）として銅膜 6 を形成した基板 W を複合加工装置 34 a の基板ホルダ 42 で吸着保持し、揺動アーム 144 を揺動させて基板ホルダ 42 を加工テーブル 146 の直上方の加工位置まで移動させる。次に、上下動用モータ 160 を駆動して基板ホルダ 42 を下降させ、この基板ホルダ 42 で保持した基板 W を加工テーブル 146 のイオン交換体 192、給電電極 188 及び研磨パッド 200 の加工面 200 a に接触させる。

この状態で、電源 180 を接続して加工電極 186 と給電電極 188 との間に所定の電圧を印加するとともに、基板ホルダ 42 と加工テーブル 146 とを共に回転させる。同時に、砥液ノズル 174 を通じて加工テーブル 146 の上面にスラリー（砥液）を供給し、加工テーブル 146 と基板ホルダ 42 で保持した基板 W との間にスラリーを満たす。これによって、スラリーの存在下、給電電極 188 で導電体膜（銅膜 6）に給電し、加工電極 186 を覆うイオン交換体 192 に当接する基板の導電体膜の表面に不動態膜を形成する加工（処理）を行い、更に、スラリーの存在下で研磨パッド 200 による機械的研磨を行うことで、この不動態膜を機械的に研磨除去する。そして、再び基板の導電体膜の表面に不動態膜を形成し、この不動態膜を研磨除去する加工を繰返す。これにより、基板表面の導電体膜の凸部のみに選択的に不動態膜を形成し、この不動態膜を選択的に除去することで、微細な凹凸パターンを有する被加工物（不動態膜）の凸部を選択的に除去することができる。

そして、電解加工完了後、電源 180 の接続を切り、基板ホルダ 42 と加工テーブル 146 の回転を停止させるとともに、スラリーの供給を

停止し、しかる後、基板ホルダ 4 2 を上昇させ、揺動アーム 1 4 4 を揺動させて基板 W を次工程に引き渡す。

また、上記実施の形態で、さらに加工テーブルの周りに桶を配置し、桶内に電極を配置して、加工電極部から供給された加工液（純水）で電極と基板を加工液に浸漬させた状態で加工するようにしてもよい。

なお、本発明は、イオン交換体を用いた超純水電解加工に限られない。電解液を用いた電解加工の場合は、図 6 乃至図 9 において、各電極の上に、例えばスポンジや S U B A（ロデール社商標）などの通液性のスクラブ部材を配置し、また、各電極の間には通電を防止するために、絶縁性の部材を介在させる。

さらに、基板への給電方法として、上述した加工テーブル側に給電電極を備えなくても、基板ホルダから基板のベベル部へ給電するようにしてもよい。その場合、加工テーブルには加工電極が不要とするか、もしくは加工テーブル側の電極を全て加工電極（陰極）とすることができる。

上述したように、本発明によれば、電解加工部による加工で基板の表面に形成された、物理的に柔らかく、かつ非導電性の不動態膜を機械的加工部で削り落とし、再び電解加工での加工を連続で繰返すことで、低面圧、高レートでの加工が可能となる。また、機械的加工部で加工することで、基板の表面に付着した気泡も不動態膜と同時に除去して、加工した面にピットが形成されることを確実に防止することができる。

図 1 3 は、本発明の更に他の実施の形態における複合加工装置を備えた基板処理装置の構成を示す平面図である。図 1 3 に示すように、この基板処理装置は、例えば、図 1 B に示す、表面に導電体膜（被加工部）としての銅膜 6 を有する基板 W を収納したカセットを搬出入する搬出入部としての一对のロード・アンロード部 2 3 0 と、基板 W を反転させる反転機 2 3 2 と、基板受渡し用のプッシャ 2 3 4 と、複合加工装置 2 3 6 とを備えている。複合加工装置 2 3 6 は、基板 W を保持する基板ホルダ 2 4 6 と、下記の電解加工部及び固定砥粒加工部を備えた加工テーブル 2 4 8 とを有している。そして、ロード・アンロード部 2 3 0、反転機 2 3 2 及びプッシャ 2 3 4 に囲まれた位置に、これらの間で基板 W を搬送して授受する搬送装置としての固定型搬送ロボット 2 3 8 が配置されている。更に、複合加工装置 2 3 6 による電解加工の際に、前述と同様に、加工電極と給電電極との間に印加する電圧、またはこの間を

流れる電流をモニタするモニタ部 242 が備えられている。

図 14 に示すように、複合加工装置 236 は、水平方向に揺動自在な揺動アーム 244 の自由端に垂設されて基板 W を下向き（フェースダウン）に吸着保持する基板ホルダ 246 と、絶縁体からなるベース 250 を備えた円板状の加工テーブル 248 を備えている。ベース 250 の上面には、図 15 及び図 16 に示すように、内部に砥粒を有する固定砥粒 252 からなる複数の固定砥粒加工部 254 と、電解加工部 256 を構成する複数の加工電極 258 及び給電電極 260 とが、半径方向に沿って放射状に、かつ円周方向に沿って交互に配置されている。

この例では、加工電極 258 の基板ホルダ 246 側の表面（上面）にイオン交換体 262a が、給電電極 260 の基板ホルダ 246 側の表面（上面）にイオン交換体 262b がそれぞれ取付けられている。このように、加工電極 258 及び給電電極 260 の表面にイオン交換体 262a, 262b を取付けることで、流体として純水、より好ましくは超純水を使用するとともに、加工電極 258 と給電電極 260 との間で、いわゆる短絡が生じることを防止して、加工効率を高めることができる。

なお、加工電極 258 及び給電電極 260 の一方にのみイオン交換体を取付けるようにしてもよく、また、例えば下記の流体として電解液を使用する場合には、イオン交換体を省略するようにしてもよい。

また、固定砥粒加工部 254 と電解加工部 256 を有する加工テーブル 248 として、基板ホルダ 246 で保持する基板 W の直径の 2 倍以上の直径を有するものを使用して、基板 W の表面全域を機械的研磨及び電解加工するようにした例を示している。

固定砥粒加工部 254 を構成する固定砥粒 252 として、この例では、表面粗さが $10\ \mu\text{m}$ 以下のものが使用されている。また、基板ホルダ 246 で保持した基板 W の表面の導電体膜として銅膜 6（図 1B 参照）の表面に、固定砥粒 252 の表面（上面）、及び加工電極 258 及び給電電極 260 にそれぞれ取付けたイオン交換体 262a, 262b の表面をそれぞれ押付けて加工を行うようになっている。この加工時に、固定砥粒 252 と基板 W の間、加工電極 258 に取付けたイオン交換体 262a と基板 W の間、及び給電電極 260 に取付けたイオン交換体 262b と基板 W の間に、 $10\ \text{psi}$ （ $69\ \text{kPa}$ ）以下の力（面圧）が加えられる。

固定砥粒 2 5 2 による機械的研磨では、被加工物表面に深さのあるスクラッチやピット等の欠陥が発生し、これらの欠陥は、電解加工部 2 5 6 による電解加工で解消できる範囲のものであることが望まれる。例えば、表面粗さが $10\ \mu\text{m}$ の固定砥粒 2 5 2 を使用し、 $10\ \text{psi}$ の面圧で銅膜の研磨を行った場合、銅表面に与えるスクラッチの深さは $0.3 \sim 0.5\ \mu\text{m}$ 程度であり、同じ面圧で、表面粗さが $5\ \mu\text{m}$ の固定砥粒 2 5 2 を使用した研磨を行った場合のスクラッチの深さは $0.2 \sim 0.3\ \mu\text{m}$ 程度である。一方、電解加工部 2 5 6 による電解加工を併用することで解消できるスクラッチの深さは $0.3\ \mu\text{m}$ 前後であり、好ましくは $0.3\ \mu\text{m}$ 以下である。したがって、固定砥粒 2 5 2 による機械的研磨で可能な限り均一な研磨を行い、電解加工部 2 5 6 による電解加工で更に清浄な表面を得るためには、固定砥粒 2 5 2 に含まれる砥粒の粒径は、 $10\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

また、特に、加工電極 2 5 8 と被加工物の間、或いは固定砥粒 2 5 2 と被加工物の間の面圧により、加工速度や加工形状が左右され、銅配線のように比較的柔らかい金属やポーラス状の *Low-k* 材にあつては、面圧を小さくしてスクラッチが起こり難くすることが望まれる。

この例では、スクラッチが起こりにくい電解加工（電気化学的加工）が主であり、固定砥粒 2 5 2 による機械的加工は、被加工物表面に塵細なキズを与えるという補助的な手段として用いている。このため、固定砥粒 2 5 2 による機械的研磨を期待するものではない。つまり、固定砥粒 2 5 2 による機械的加工で、被加工物の表面全体に塵細な傷を与えることにより、電解加工部 2 5 6 による電解加工での電界の局所的な集中を緩和させて、均一化した平坦性の高い加工が可能となる。

被加工物に与えるスクラッチの深さは、固定砥粒 2 5 2 の表面の粗さと面圧によって決定される。この例によれば、前述のように、 $10\ \text{psi}$ 以下の面圧で、表面粗さが $10\ \mu\text{m}$ 以下の固定砥粒 2 5 2 を使用した機械的研磨を行うことで、銅表面に与えるスクラッチの深さを、電解加工部 2 5 6 による電解加工を併用することで解消可能な $0.3 \sim 0.5\ \mu\text{m}$ 程度以下とすることができる。また、加工電極 2 5 8 及び給電電極 2 6 0 の面圧を $10\ \text{psi}$ 以下とすることで、スクラッチが起こり難くする要請に応えることができる。

なお、加工電極 2 5 8 及び給電電極 2 6 0 に取付けたイオン交換体 2

62a, 262bを基板Wに接触させることなく、基板Wに近接させるようにしてもよい。

揺動アーム244は、図14に示すように、上下動用モータ360の駆動に伴ってボールねじ362を介して上下動し、揺動用モータ264の駆動に伴って回転する揺動軸266の上端に連結されている。また、基板ホルダ246は、揺動アーム244の自由端に取付けた自転用モータ268に接続され、この自転用モータ268の駆動に伴って回転（自転）するようになっている。

加工テーブル248は、中空モータ270に直結され、この中空モータ270の駆動に伴って回転（自転）するようになっている。加工テーブル248のベース250の中央部には、電解液または純水、より好ましくは超純水等の液体を供給する液体供給部としての貫通孔248aが設けられている。そして、この貫通孔248aは、中空モータ270の中空部の内部を延びる液体供給管272に接続されている。純水、より好ましくは超純水等の液体は、この貫通孔248aを通して供給された後、吸水性を有するイオン交換体262a, 262bを通じて加工面全域に供給される。また、液体供給管272から接続される貫通孔248aを複数設けて、加工液を加工面全域に行き渡らせやすくしてもよい。

加工テーブル248の上方には、加工テーブル248の直径方向に沿って延びて、電解液または純水（超純水）等の液体を供給する液体供給部としてのノズル274が配置されている。これによって、電解液または純水（超純水）等の液体が基板Wの表面に該基板Wの上下方向から同時に供給されるようになっている。

この例では、図14に示すように、スリップリング278を介して、電源280の陰極に加工電極258を、電源280の陽極に給電電極260をそれぞれ接続する。このように、加工電極258と給電電極260とを加工テーブル48の円周方向に沿って分割して交互に設けることで、基板の導電体膜（被加工物）への固定給電部を不要となして、基板の全面の加工が可能となる。

次に、この基板処理装置による基板処理（電解加工）について説明する。まず、例えば図1Bに示す、表面に導電体膜（被加工部）として銅膜6を形成した基板Wを収納してロード・アンロード部230にセットしたカセットから、1枚の基板Wを搬送ロボット238で取出し、この

基板Wを、必要に応じて反転機232に搬送して反転させて、基板Wの導電体膜（銅膜6）を形成した表面が下を向くようにする。次に、この表面が下を向いた基板Wを搬送ロボット238でプッシャ234まで搬送してプッシャ234上に載置する。

このプッシャ234上に載置した基板Wを、複合加工装置236の基板ホルダ246で吸着保持し、揺動アーム244を揺動させて基板ホルダ246を加工テーブル248の直上方の加工位置まで移動させる。次に、上下動用モータ360を駆動して基板ホルダ246を下降させ、この基板ホルダ246で保持した基板Wを、加工テーブル248の固定砥粒252、加工電極258に取付けたイオン交換体262a及び給電電極260に取付けたイオン交換体262bの表面に接触させて押付ける。この時、固定砥粒252及びイオン交換体262a、262bの押付け圧力（面圧）が10psi（69kPa）以下となるようにする。

なお、イオン交換体262a、262bの一方、または双方を基板Wの表面に近接させるようにしてもよい。

この状態で、電源280を接続して加工電極258と給電電極260との間に所定の電圧を印加するとともに、基板ホルダ246と加工テーブル248とを共に回転させる。同時に、貫通孔248aを通じて、加工テーブル248の下側から該加工テーブル248の上面に純水、好ましくは超純水を、ノズル274により加工テーブル248の上側から該加工テーブル248の上面に純水、好ましくは超純水を同時に供給し、加工電極258及び給電電極260と基板Wとの間に純水、好ましくは超純水を満たす。

これによって、固定砥粒加工部254の固定砥粒252と接触する基板Wの表面の導電体膜（銅膜6）が機械的に研磨され、同時に、基板Wの表面の導電体膜（銅膜6）が陽極となって、陰極に接続された加工電極258に取付けたイオン交換体262aと接触する基板Wの表面の導電体膜（銅膜6）が電解加工される。基板ホルダ246と加工テーブル248とを共に回転させることで、この機械的研磨と電解加工が基板Wの全面に亘って行われる。

この時、加工電極258と給電電極260との間に印加する電圧、またはこの間を流れる電流をモニタ部242でモニタして、エンドポイント（加工終点）を検知してもよいことは、前述と同様である。

加工完了後、電源 280 の加工電極 258 及び給電電極 260 との接続を切り、基板ホルダ 246 と加工テーブル 248 の回転を停止させる。しかる後、基板ホルダ 246 を上昇させ、揺動アーム 244 を揺動させて基板 W をプッシャ 234 に受け渡す。そして、搬送ロボット 238 は、このプッシャ 234 から基板 W を受取り、必要に応じて反転機 232 に搬送して反転させた後、基板 W をロード・アンロード部 230 のカセットに戻す。

このように、加工テーブル 248 と基板 W との間に純水、好ましくは超純水を供給することで、前述の例と同様に、基板 W の表面に電解質等の余分な不純物が付着したり、残留したりすることをなくし、しかも、基板 W の表面が溶解した銅イオン等により汚染されることを防止することができる。

超純水は、比抵抗が大きく電流が流れ難いため、電極と被加工物との距離を極力短くしたり、電極と被加工物との間にイオン交換体を挟んだりすることで電気抵抗を低減しているが、さらに電解液を組み合わせることで、更に電気抵抗を低減して消費電力を削減することができる。なお、電解液による加工では、被加工物の加工される部分が加工電極よりやや広い範囲に及ぶが、超純水とイオン交換体の組合せでは、超純水にほとんど電流が流れないため、被加工物の加工電極とイオン交換体が投影された範囲内のみが加工されることになる。

この例では、加工電極 258 及び給電電極 260 にイオン交換体 262a, 262b を取付けた例を示しているが、加工電極 258 及び給電電極にイオン交換体を取付けることなく、また純水、好ましくは超純水の代わりに、純水や超純水に電解質を添加した電解液を使用してもよい。電解液を使用することで、さらに電気抵抗を低減して消費電力を削減することができる。この電解液としては、例えば、 NaCl や Na_2SO_4 等の中性塩、 HCl や H_2SO_4 等の酸、更には、アンモニア等のアルカリが使用でき、被加工物の特性によって適宜選択して使用すればよい。

更に、純水（超純水）の代わりに、純水（超純水）に界面活性剤等を添加して、電気伝導度が $500\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、好ましくは、 $50\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、更に好ましくは、 $0.1\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下（比抵抗で $10\ \text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ 以上）にした液体を使用してもよいことは前述と同様である。

図 17 は、加工テーブル 248 の他の例を示す。この加工テーブル 2

48は、ベース250上に該ベース250の中心を挟んで直線状に延びる各2個の加工電極258aと給電電極260aとを互いに直交するように配置し、この加工電極258aと給電電極260aとの間に、合計4個の扇状の固定砥粒252aを配置している。この加工電極258a及び給電電極260aの表面にイオン交換体を取付けてもよいことは勿論である。

図18は、加工テーブル248の他の例を示す。この加工テーブル248は、ベース250上に該ベース250の中心を挟んで四方に延びる、合計4個の直線状の固定砥粒254bを配置し、この固定砥粒254bに挟まれた領域に、扇状の各2個の加工電極258bと給電電極260bを加工テーブル248の回転方向に沿って交互に配置している。この加工電極258b及び給電電極260bの表面にイオン交換体を取付けてもよいことは勿論である。

このように、固定砥粒加工部を構成する固定砥粒や、電極加工部を構成する加工電極及び給電電極の形状や個数等は、被加工物に合わせて任意に選択される。

図19及び図20は、本発明の更に他の実施の形態における複合加工装置を示す。この複合加工装置300は、内部に純水、好ましくは超純水等の液体を保持して該液体の飛散を防止する加工チャンバ302を有している。加工チャンバ302の内部に位置して、表面（被処理面）を上向き（フェースアップ）にして、被処理物としての基板Wを着脱自在に保持する基板ホルダ304が、この基板ホルダ304で保持した基板Wが加工チャンバ302内の純水等の液体に浸漬されるように配置されている。

基板ホルダ304の上方に位置して、加工テーブル306が上下動自在、かつモータ308を介して回転自在に配置されている。この加工テーブル306には、絶縁体からなるベース310が備えられ、このベース310の下面には、図20に示すように、固定砥粒312からなる固定砥粒加工部314と、電解加工部316を構成する加工電極318及び給電電極320が着脱自在に配置される。固定砥粒312として、例えば、表面粗さが4.4 μm の#3000アルミナ砥粒シート、または表面粗さが0.5 μm の#8000ダイヤモンド砥粒シート（いずれも住友3M社製）が使用される。加工電極318と給電電極320は、ベース31

0の中心を挟んだ位置に、所定間隔、例えば3mm程度離間して直線状に配置され、固定砥粒312は、固定砥粒312で研磨された面が加工電極318で直ぐに電解加工されるよう、加工テーブル306の回転方向に沿った加工電極318の直上流側に該加工電極318と平行に配置される。

加工電極318及び給電電極320の基板ホルダ304側の表面には、例えば、ポリエチレン製の不織布にグラフト重合法によりスルホン酸基を付与したイオン交換体と、このイオン交換体の上に積層したナフイオン (Nafion) 117 (デュポン社製) からなるシート状のイオン交換体の2層からなるイオン交換体322a, 322bが取付けられている。この加工電極318は電源324の陰極に、給電電極320は電源324の陽極にそれぞれ接続される。

更に、加工チャンバ302の内部に位置して、基板ホルダ304で保持した基板Wに向けて超純水等の液体を供給する液体ノズル326が配置されている。

この例によれば、基板ホルダ304で基板Wを保持した後、加工テーブル306を下降させて、固定砥粒312、及び加工電極318及び給電電極320にそれぞれ取付けたそれぞれイオン交換体322a, 322bを、例えば10psi (69kPa) の面圧で押付けながら加工テーブル306を回転させ、同時に、液体ノズル326から基板Wに向けて超純水等の液体を供給する。この時、加工チャンバ302内に超純水等の液体を満たして、液体の飛散を防止する。そして、加工電極318を電源324の陰極に、給電電極320を電源324の陽極にそれぞれ接続し、これによって、固定砥粒加工部314の固定砥粒312による機械的加工と、電解加工部316の加工電極318による電解加工を、固定砥粒312で研磨された面が加工電極318で直ぐに電解加工されるようにして、同時に行う。

なお、加工チャンバを備えることなく、基板ホルダで保持した基板の表面に供給された液体が基板の表面に沿って外方に流れ、そのまま外部に流出するようにしてもよい。

上述したように本発明によれば、固定砥粒による機械的研磨加工と超純水や電解液による電解加工とを複合することにより、スラリーや洗浄液の廃液処理の負荷が少なく、加工面の平滑性、加工レートなど加工性

能が著しく向上する。

実施例 1 及び 2

図 19 及び図 20 に示す複合加工装置 300 を用いて、銅めっき膜の複合電解加工を行った。ここで、図 19 及び図 20 に示す複合加工装置 300 の加工テーブル 306 として、ベース 310 に表面に、ポリエチレン製の不織布にグラフト重合法によりスルホン酸基を付与したイオン交換体と該イオン交換体の上に積層したナフイオン (Nafion) 117 (デュポン社製) からなるシート状のイオン交換体の 2 層からなるイオン交換体 322a, 322b を表面に取付けた加工電極 318 及び給電電極 320 とを備え、更に表面粗さが $4.4\ \mu\text{m}$ の #3000 アルミナ砥粒シートからなる固定砥粒 312 を備えたもの (実施例 1)、または表面粗さが $0.5\ \mu\text{m}$ の #8000 ダイヤモンド砥粒シートからなる固定砥粒 312 を備えたもの (実施例 2) を使用した。

先ず、試料として、表面に導電性の薄膜 (銅) が成膜されたテスト用ウエハ基板 ($50\ \phi$) を用意した。そして、液体として、比抵抗が $18\ \text{M}\Omega \cdot \text{cm}$ 以上の超純水を使用し、この超純水を液体ノズル 326 から加工チャンバ 302 内に供給し保持しながら、基板ホルダ 304 に吸着保持し超純水に浸漬させて試料 (基板 W) に加工を行った。

この時、加工テーブル 306 をモータ 308 により $200\ \text{rpm}$ で回転させ、加工電極 318 と給電電極 320 を定電流定電圧電源 324 に接続し、銅めっき膜を定電流 $0.3\ \text{A}$ で 90 秒の電解加工を行った。加工後の残存膜厚を測定し、加工レートを求めた。膜厚は、4 探針法比抵抗計により測定した比抵抗を膜厚に換算して求めた。

図 21 に、固定砥粒 312 として #3000 アルミナ砥粒シートを用いた場合 (実施例 1)、#8000 ダイヤモンド砥粒シートを用いた場合 (実施例 2) の加工プロファイルを、固定砥粒を用いることなく電解加工のみを行った場合 (比較例) と共に示す。実施例 1 及び 2 のいずれの場合も、電解加工のみの場合 (比較例) に比べ加工レートが速いことが判る。

また、この実施例 1 及び実施例 2 における加工後の試料 (ウエハ) 表面をレーザ顕微鏡により観察した結果を図 22 に示す。図 22 により、実施例 1 にあっては、 $0.1\ \mu\text{m}$ 前後のスクラッチが残るものの、その数が激減していることが判る。また、実施例 2 にあっては、平滑な加工面が得られることが判る。

実施例 3 及び 4

実施例 1 及び 2 と同様な試料を用意し、図 19 及び図 20 に示す複合加工装置を用いて銅めっき膜の加工を行った。ここで、図 19 及び図 20 に示す複合加工装置 300 の加工テーブル 306 として、先ずベース 310 の表面に、表面粗さが $4.4\ \mu\text{m}$ の #3000 アルミナ砥粒シートからなる固定砥粒 312 のみを備えたものを使用して、固定砥粒 312 による機械的研磨を行い（実施例 3）、または表面粗さが $0.5\ \mu\text{m}$ の #8000 アルミナ砥粒シートからなる固定砥粒 312 のみを備えたものを使用して、固定砥粒 312 による機械的研磨を行い（実施例 4）、しかる後、ポリエチレン製の不織布にグラフト重合法によりスルホン酸基を付与したイオン交換体と該イオン交換体の上に積層したナフイオン (Nafion) 117 (デュポン社製) からなるシート状のイオン交換体の 2 層からなるイオン交換体 322a, 322b を表面に取付けた加工電極 318 及び給電電極 320 のみを備えたものを使用して、加工電極 318 による電解加工を行った。

この固定砥粒 312 (#3000 アルミナ砥粒シート (実施例 3) または #8000 ダイヤモンド砥粒シート (実施例 4)) による加工に際し、加工テーブル 306 をモータ 308 により $200\ \text{rpm}$ で回転させ、比抵抗 $18\ \text{M}\Omega \cdot \text{cm}$ の超純水中で 30 秒間の機械的研磨加工を行った。加工後の試料 (ウエハ) 表面をレーザ顕微鏡により観察した。次いで、電解加工部 316 の加工電極 318 による加工に際し、比抵抗 $18\ \text{M}\Omega \cdot \text{cm}$ の超純水中で、加工テーブル 306 を $200\ \text{rpm}$ で回転させ、加工電極 318 と給電電極 320 との間に定電流 $0.3\ \text{A}$ を流して、90 秒間、電解加工を行った。加工後の試料 (ウエハ) の表面をレーザ顕微鏡により観察した。

図 23 にこれらを観察した結果を示す。図 23 より、実施例 3 の場合、#3000 アルミナ砥粒研磨シートからなる固定砥粒で加工したことによる試料 (ウエハ) 表面のスクラッチ等の粗さは、 $0.2 \sim 0.27\ \mu\text{m}$ であったが、これを電解加工することにより減少させることができ、スクラッチ等の粗さは、 $0.1\ \mu\text{m}$ 以下となった。また、実施例 4 の場合、#8000 ダイヤモンド砥粒研磨シートからなる固定砥粒で加工したことによるスクラッチ等の粗さは、 $0.1\ \mu\text{m}$ 前後であり、電解加工により、スクラッチ等は殆どなくなり、平滑な加工面が得られることが判る。

粒度が大きい固定砥粒（研磨シート）を用いることにより、複合電解加工での加工レートが速くなったとしても、スクラッチ等が電解加工により除去しきれない。0.5 μm 以上の深いスクラッチ等は、電解加工で平坦化するのは極めて困難である。従って、例えば、銅めっきウエハのように加工精度と表面平滑性の求められる材料に対して、1種類の固定砥粒で複合電解加工を行う場合には、＃8000以上（砥粒粒径1 μm 以下、表面粗さ0.5 μm ）を使用することが望ましい。好ましくは、加工レートを大きくするために、固定砥粒を段階的に細なものに変えて、例えば最初は＃3000で、次に＃8000とし最後は固定砥粒をなくして電解加工のみで仕上げを行うプロセスが理想的である。

これまで本発明の一実施形態について説明したが、本発明は上述の実施の形態に限定されず、その技術的思想の範囲内において種々異なる形態にて実施されてよいことは言うまでもない。

産業上の利用の可能性

本発明は、例えば半導体ウエハ等の基板表面に設けた配線用の微細な凹部に埋込んだ銅等の導電体（導電性材料）の表面を平坦化して埋込み配線を形成するのに使用される複合加工装置及び方法に関する。

請求の範囲

1. 基板を保持する基板ホルダと、

基板の表面を機械的作用を含む加工方法で加工する機械的加工部と、イオン交換体を備えた加工電極を有し、該イオン交換体を基板に接触させつつ前記加工電極と基板の間に電圧を印加して基板を加工する電解加工部とを個別に備えた加工テーブルと、

基板と前記加工電極の間、及び基板と前記機械的加工部の間に液体を供給する液体供給部と、

基板と前記加工テーブルとを相対移動させる駆動部を備えたことを特徴とする複合加工装置。

2. 基板と前記加工テーブルが相対移動する時、前記加工電極が前記基板ホルダで保持された基板の被加工部位を通過し、該被加工部位を前記機械的加工部が続けて通過することを特徴とする請求項 1 記載の複合加工装置。

3. 前記加工電極に続けて前記機械的加工部が基板の被加工部位を通過する時間は、1 秒以内に設定されていることを特徴とする請求項 2 記載の複合加工装置。

4. 前記機械的加工部は、固定砥粒からなる加工面を有することを特徴とする請求項 1 記載の複合加工装置。

5. 前記機械的加工部は、研磨パッドからなる加工面と、該加工面にスラリーを供給するスラリー供給部を有することを特徴とする請求項 1 記載の複合加工装置。

6. 前記加工テーブルには、前記加工電極と基板に給電する給電電極とが交互かつ所定間隔離間して配置され、前記加工電極を挟む位置に前記機械的加工部が配置されていることを特徴とする請求項 1 記載の複合加工装置。

7. 前記加工テーブルは、スクロール運動を行うことを特徴とする請求項 6 記載の複合加工装置。

8. 前記加工テーブルは円板状に形成され、前記加工電極は、半径方向に延びて配置され、該加工電極を挟む両側に基板に給電する給電電極が配置されていることを特徴とする請求項 1 記載の複合加工装置。

9. 基板を保持する基板ホルダと、

砥粒を内部に有する固定砥粒により基板の表面を機械的作用を含む加工方法で研磨する固定砥粒加工部と、加工電極を有し、前記加工電極と基板の間に電圧を印加して基板を加工する電解加工部とを個別に備えた加工テーブルと、

基板と前記加工テーブルとを相対運動させる駆動部と、

基板と前記加工電極の間、及び基板と前記固定砥粒の間に液体を供給する液体供給部を備えたことを特徴とする複合加工装置。

10. 基板と前記加工テーブルが相対移動する時、前記加工電極が前記基板ホルダで保持された基板の被加工部位を通過し、該被加工部位を前記固定砥粒加工部が続けて通過することを特徴とする請求項 9 記載の複合加工装置。

11. 前記加工電極に続けて前記固定砥粒加工部が基板の被加工部位を通過する時間は、1 秒以内に設定されていることを特徴とする請求項 10 記載の複合加工装置。

12. 前記加工テーブルには、前記加工電極と基板に給電する給電電極とが交互かつ所定間隔離間して配置され、前記加工電極を挟む位置に前記固定砥粒加工部が配置されていることを特徴とする請求項 9 記載の複合加工装置。

13. 前記加工テーブルは、スクロール運動を行うことを特徴とする請求項 12 記載の複合加工装置。

14. 前記加工テーブルは円板状に形成され、前記加工電極は、半径方向に延びて、該加工電極を挟む両側に基板に給電する給電電極が配置されていることを特徴とする請求項9記載の複合加工装置。

15. 基板の表面を機械的作用を含む加工方法で加工する機械的加工部と、イオン交換体を備えた加工電極を有し、該イオン交換体を基板に接触させつつ前記加工電極と基板の間に電圧を印加して基板を加工する電解加工部とを個別に備え、基板と前記機械的加工部及び前記加工電極とを相対移動させて基板表面の加工を行うことを特徴とする複合加工方法。

16. 被加工物を保持するホルダと、

砥粒を内部に有する固定砥粒により被加工物の表面を機械的作用を含む加工方法で加工する固定砥粒加工部と、

被加工物に近接自在な加工電極と被加工物に給電する給電電極とを有し、前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加して被加工物を加工する電解加工部と、

前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加する電源と、

被加工物と前記加工電極及び／又は前記給電電極との間、及び／又は被加工物と前記固定砥粒加工部の間に液体を供給する液体供給部と、

被加工物と前記固定砥粒加工部、及び被加工物と前記電解加工部を相対移動させる駆動部を備えたことを特徴とする複合加工装置。

17. 前記加工電極及び／又は前記給電電極は、被加工物との間に配置されるイオン交換体を備えていることを特徴とする請求項16記載の複合加工装置。

18. 被加工物と前記固定砥粒加工部、及び被加工物と前記電解加工部が相対移動する時、前記固定砥粒加工部が前記ホルダで保持された被加工物の被加工部位を通過し、該被加工部位を前記電解加工部が続けて通過することを特徴とする請求項16記載の複合加工装置。

19. 表面粗さの異なる固定砥粒を有する、少なくとも2種類以上の前記固定砥粒加工部を有することを特徴とする請求項16記載の複合加工装置。

20. 前記固定砥粒の表面粗さが、 $10\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項16記載の複合加工装置。

21. 前記液体は、純水、電気伝導度が $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の液体又は電解液であることを特徴とする請求項16記載の複合加工装置。

22. 前記加工電極と被加工物との間、及び前記給電電極と被加工物の間にイオン交換体が個別に配置されていることを特徴とする請求項16記載の複合加工装置。

23. 前記加工電極、前記給電電極及び前記固定砥粒の少なくとも1つと被加工物との間に加えられる力が、 10psi (69kPa) 以下であることを特徴とする請求項16記載の複合加工装置。

24. 前記固定砥粒加工部及び／又は前記電解加工部は、被加工物に近接又は離間するように移動することを特徴とする請求項16記載の複合加工装置。

25. 前記固定砥粒加工部を接触させて被加工物を加工した後、前記電解加工部のみで被加工物を加工するように前記固定砥粒加工部及び／又は前記電解加工部を動かすことを特徴とする請求項24記載の複合加工装置。

26. 被加工物を保持するホルダと、
被加工物の表面を機械的作用を含む加工方法で加工する機械的加工部と、

イオン交換体を備え、被加工物に近接自在な加工電極と、被加工物に給電する給電電極とを有し、前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加して被加工物を加工する電解加工部と、

被加工物と前記電解加工部の間、及び／又は被加工物と前記機械的加工部の間に液体を供給する液体供給部と、

被加工物と前記機械的加工部、及び被加工物と前記電解加工部を相対移動させる駆動部を備えたことを特徴とする複合加工装置。

２７． 前記機械的加工部及び／又は前記電解加工部は、被加工物に近接又は離間するように移動することを特徴とする請求項２６記載の複合加工装置。

２８． 前記機械的加工部を接触させて被加工物を加工した後、前記電解加工部のみで被加工物を加工するように前記機械的加工部及び／又は前記電解加工部を動かすことを特徴とする請求項２７記載の複合加工装置。

２９． 砥粒を内部に有する固定砥粒により被加工物の表面を機械的作用を含む加工方法で加工する固定砥粒加工部と、加工電極と給電電極とを有し該加工電極と給電電極との間に電圧を印加して被加工物を加工する電解加工部とを備え、被加工物と前記固定砥粒加工部、及び被加工物と前記電解加工部を相対移動させて被加工物表面の加工を行うことを特徴とする複合加工方法。

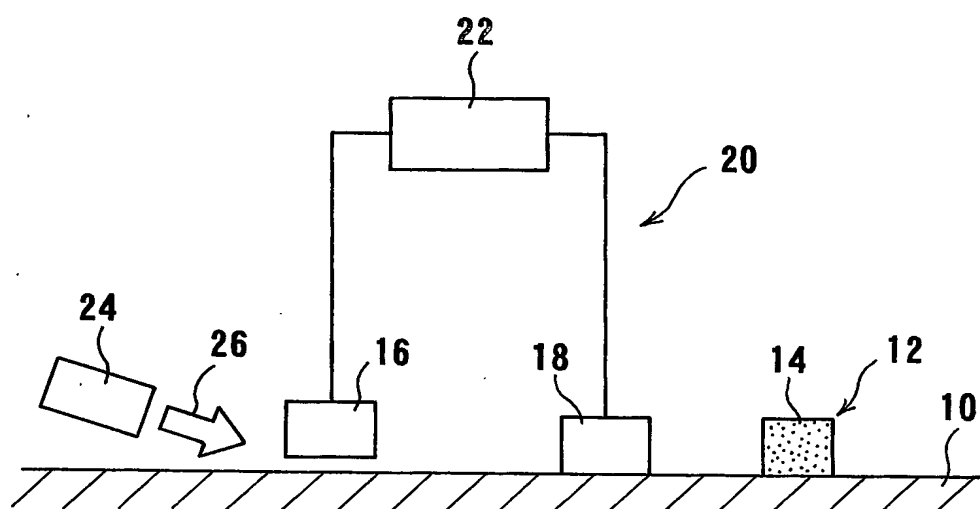
３０． 前記固定砥粒加工部を接触させて被加工物を加工した後、前記電解加工部のみで被加工物を加工することを特徴とする請求項２９記載の複合加工方法。

３１． 被加工物の表面を機械的作用を含む加工方法で加工する機械的加工部と、イオン交換体を備えた加工電極を有し、該イオン交換体を被加工物に接触させつつ前記加工電極と被加工物の間に電圧を印加して被加工物を加工する電解加工部とを備え、被加工物と前記機械的加工部、及び被加工物と前記電解加工部を相対移動させて被加工物表面の加工を行うことを特徴とする複合加工方法。

3 2 . 前記機械的加工部を接触させて被加工物を加工した後、前記電解加工部のみで被加工物を加工することを特徴とする請求項 3 1 記載の複合加工方法。

2/18

FIG. 2



3/18

FIG. 3A

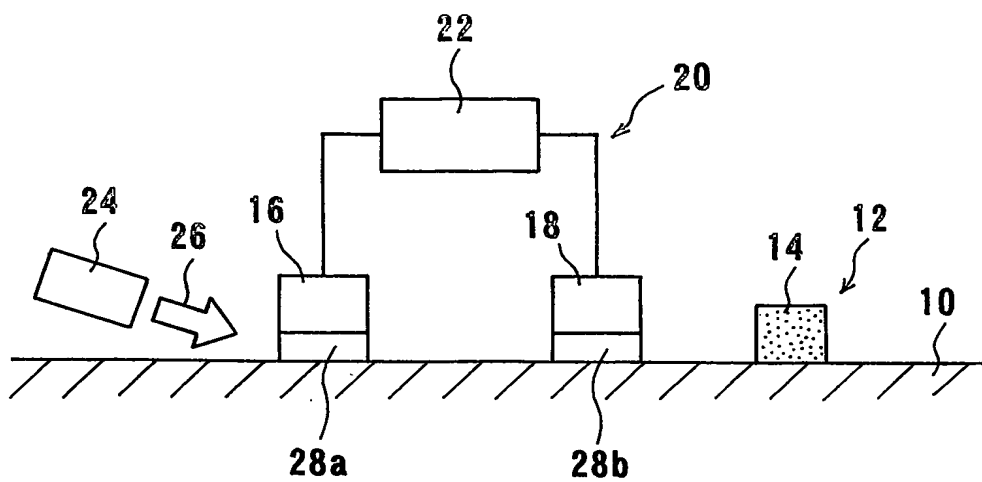
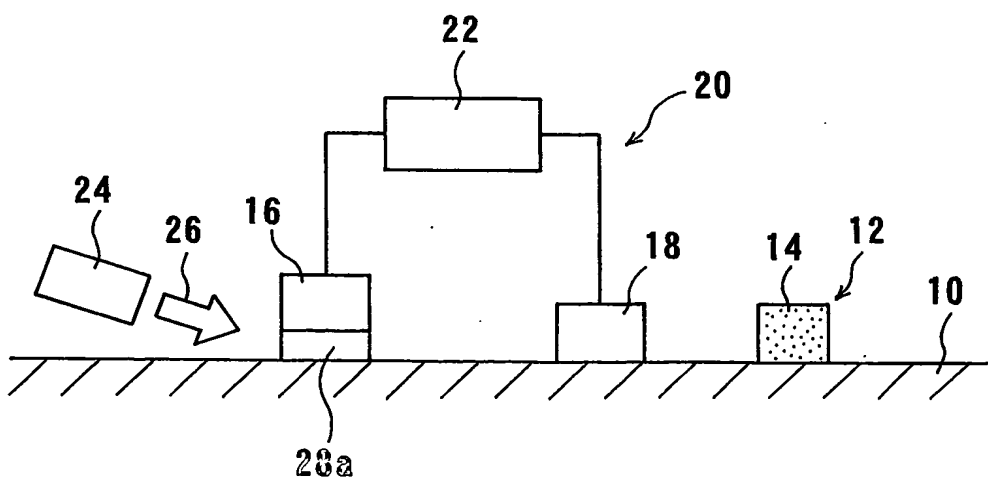


FIG. 3B



4/18

FIG. 4

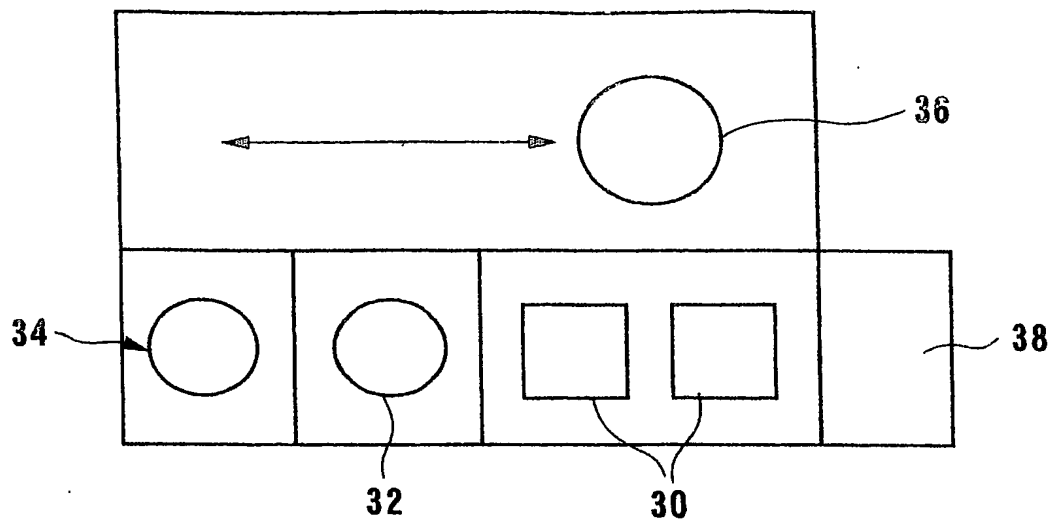
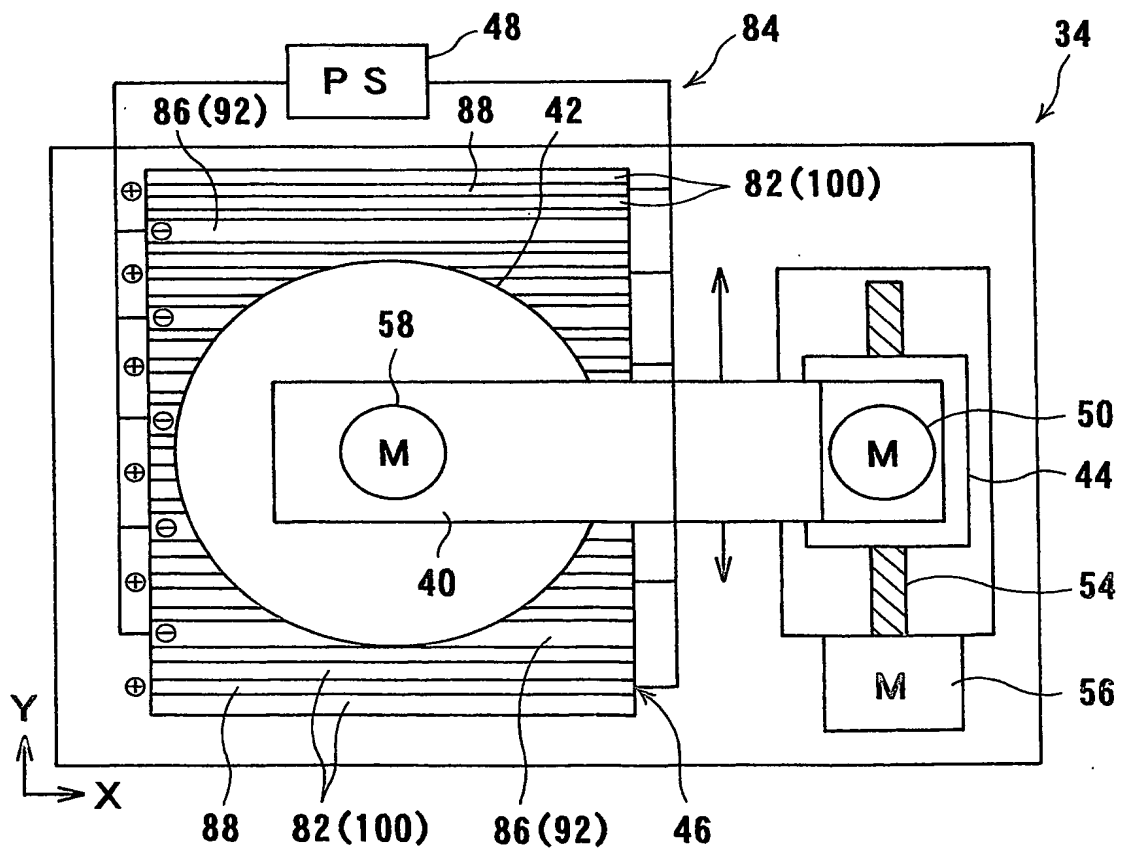
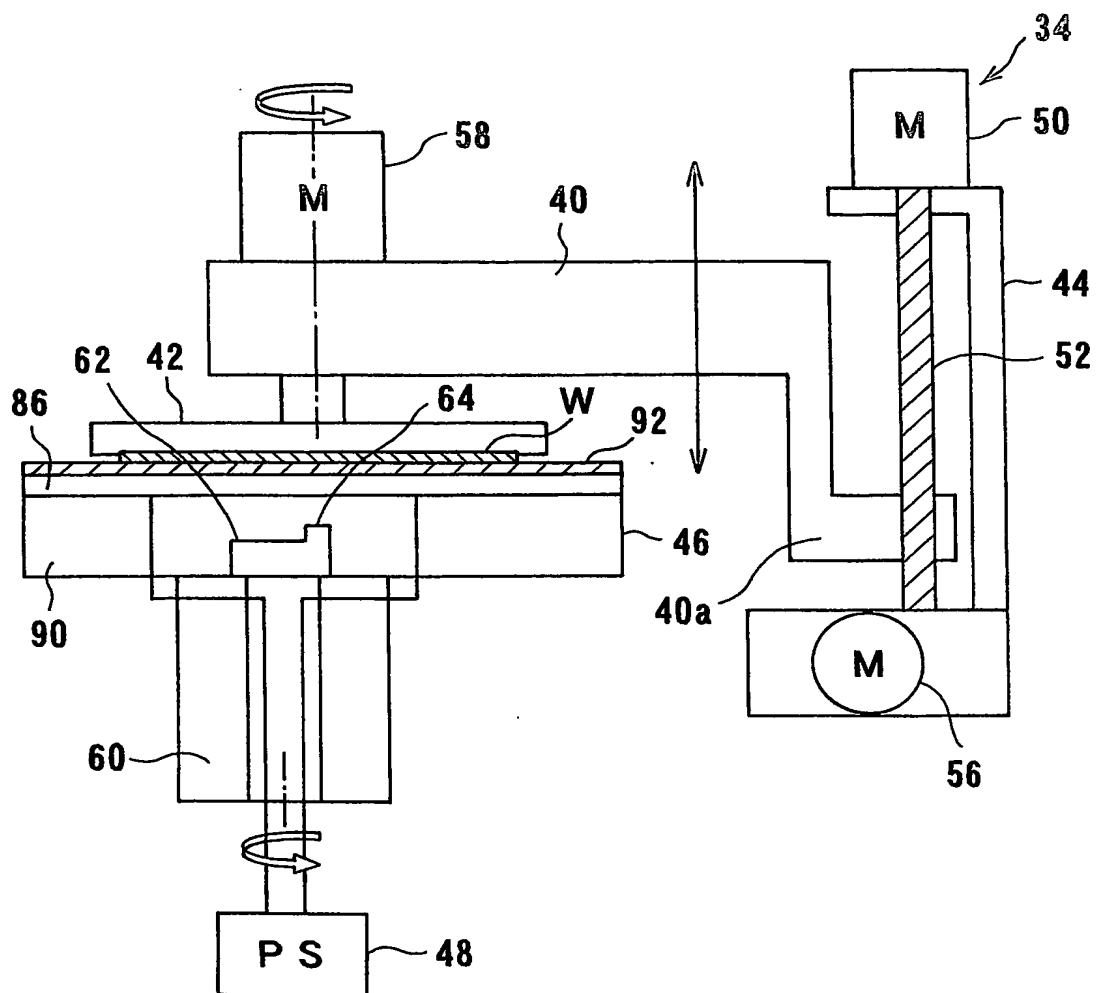


FIG. 5



5/18

FIG. 6



6/18
FIG. 7A

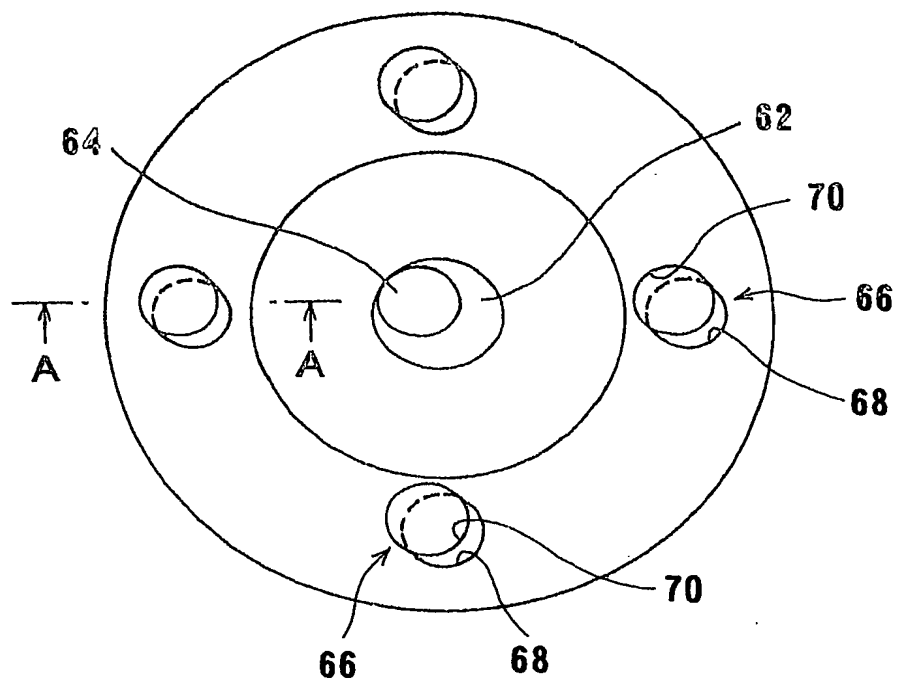


FIG. 7B

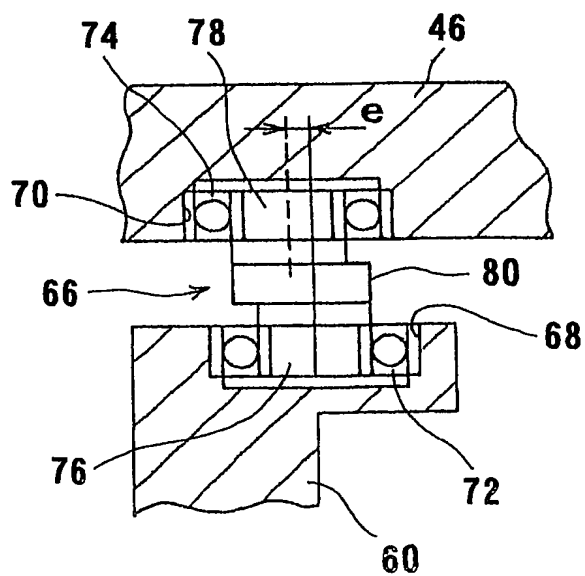
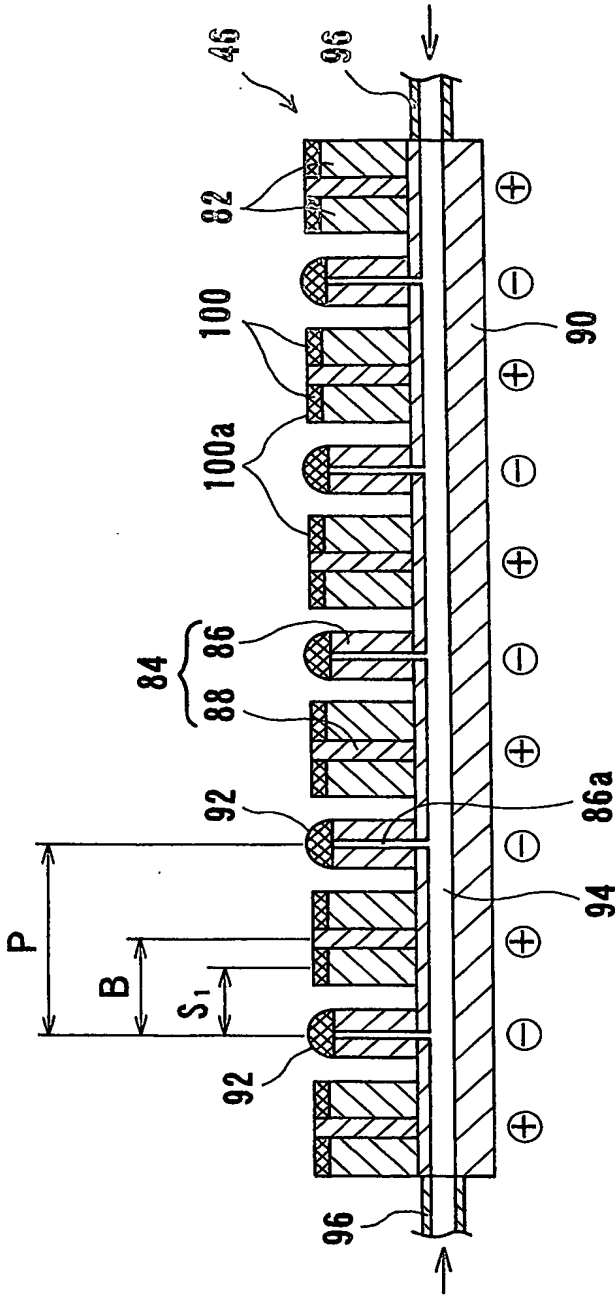
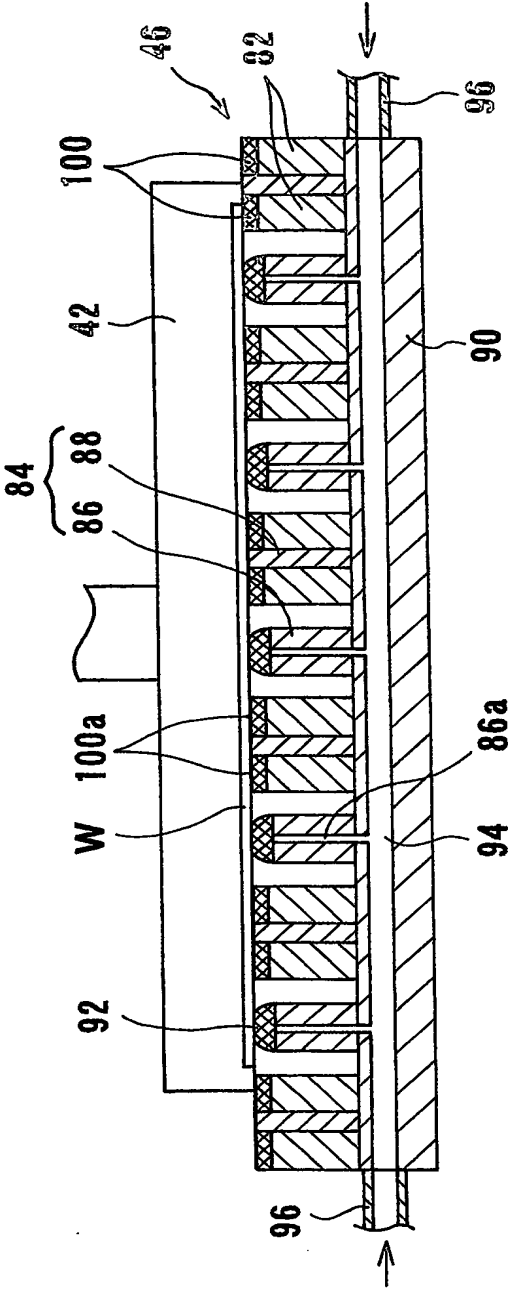


FIG. 8



8/18

FIG. 9



9/18

FIG. 10A

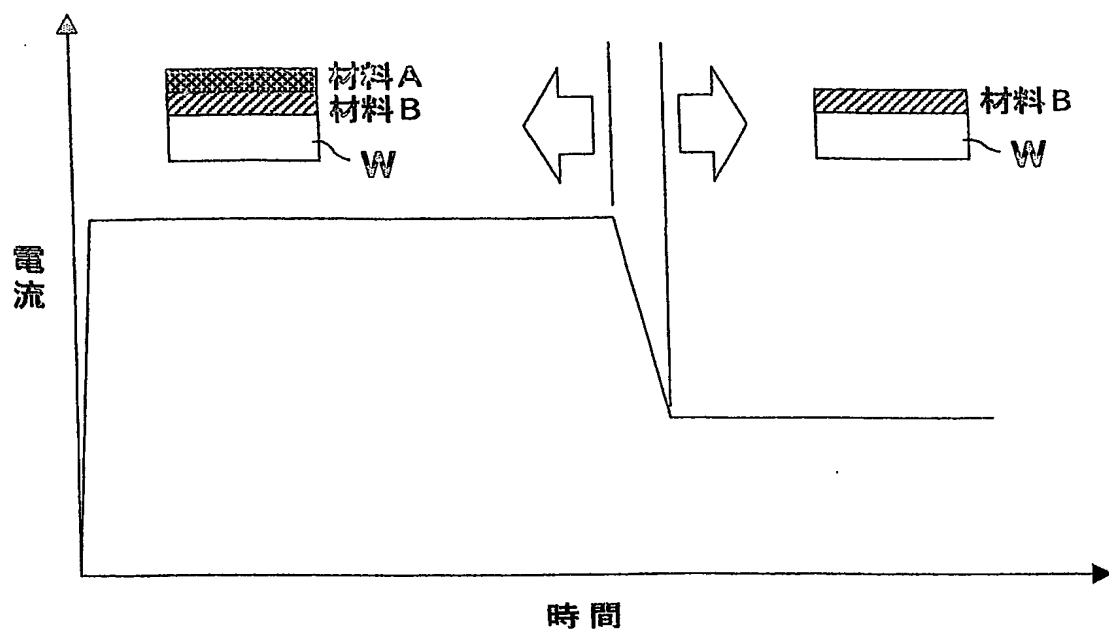
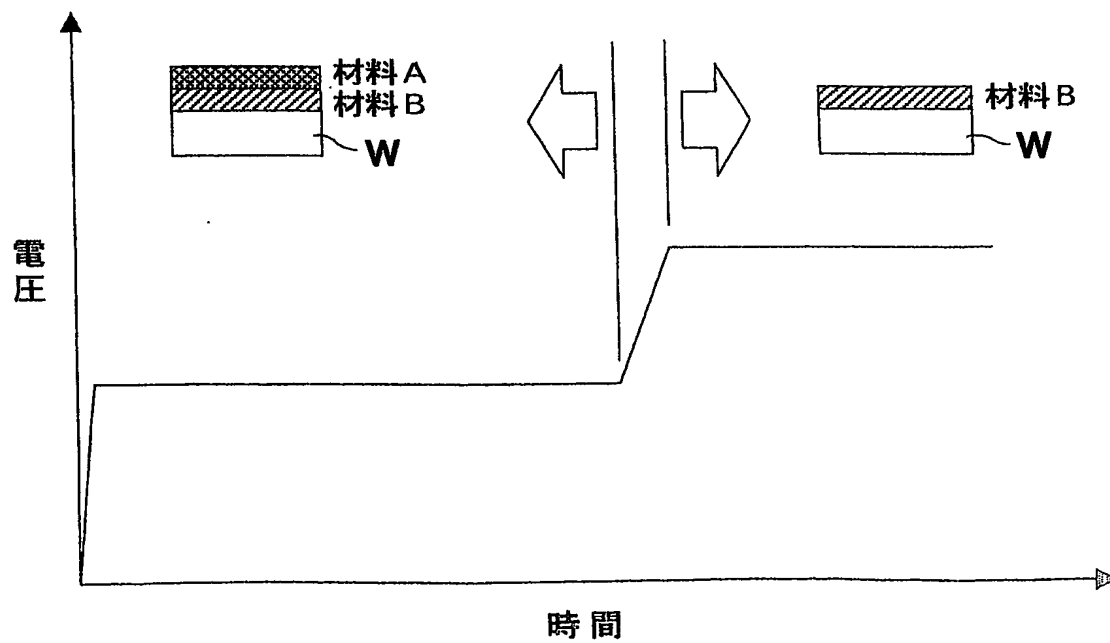
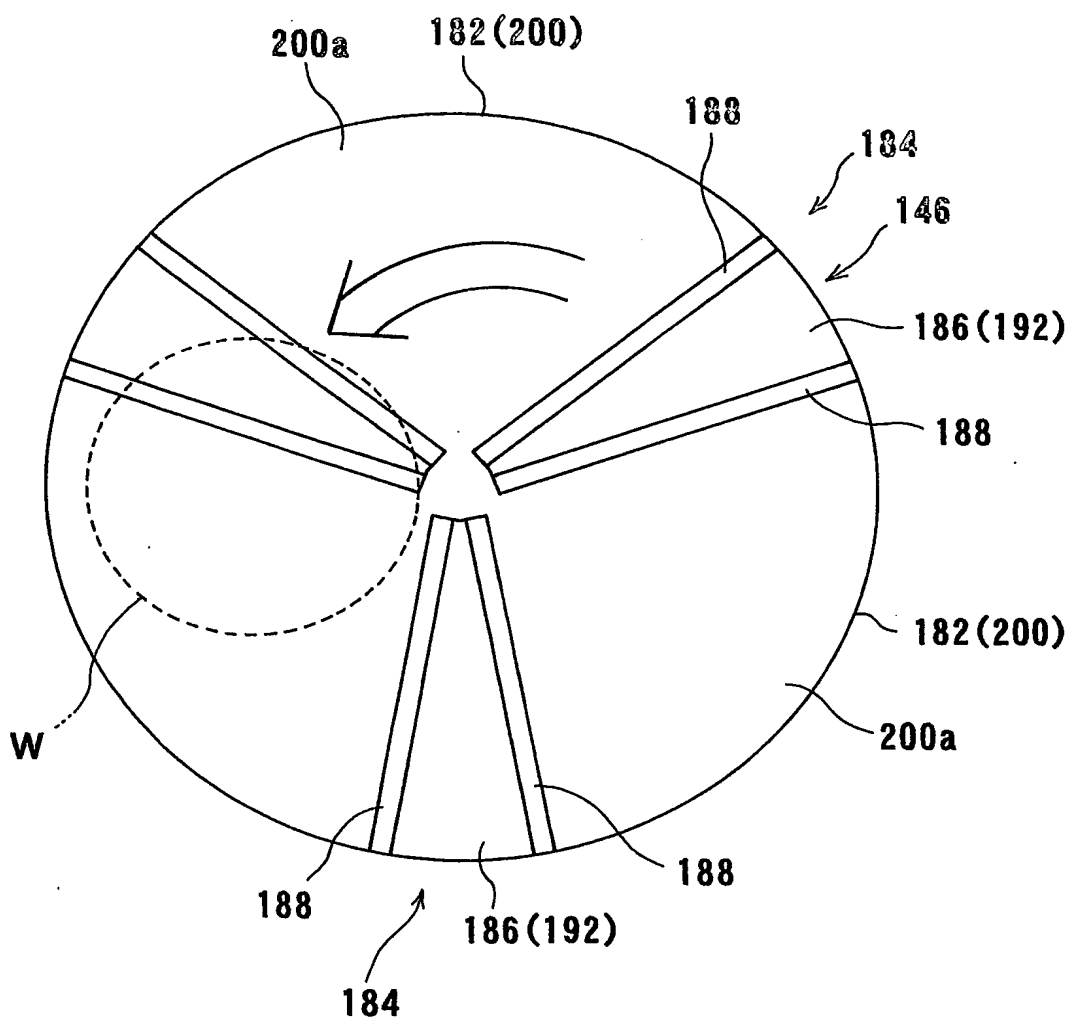


FIG. 10B



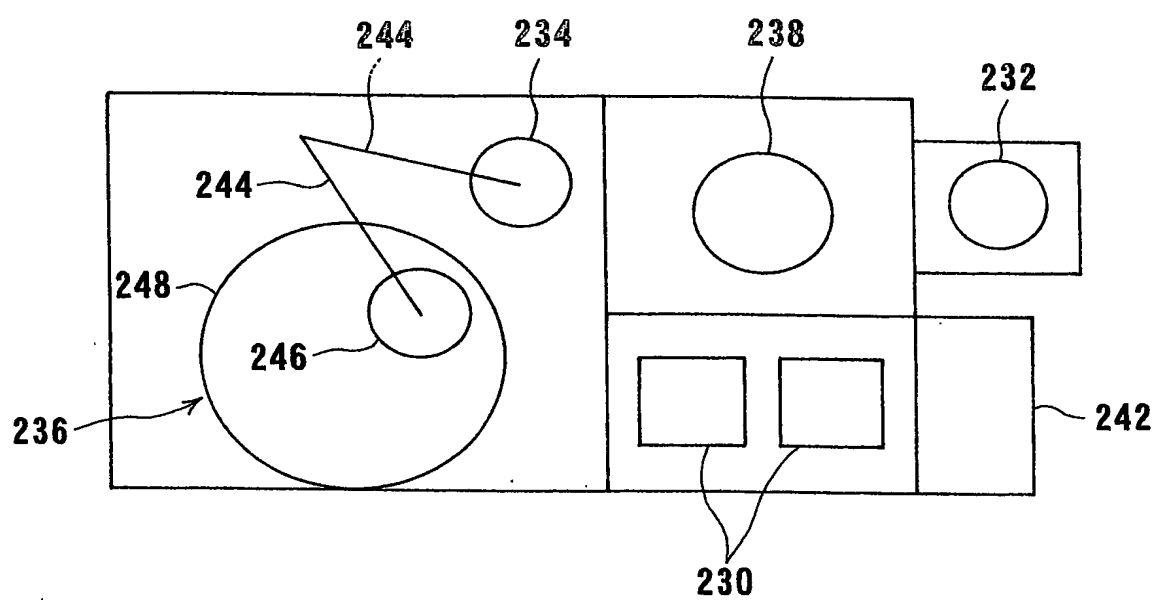
11/18

FIG. 12



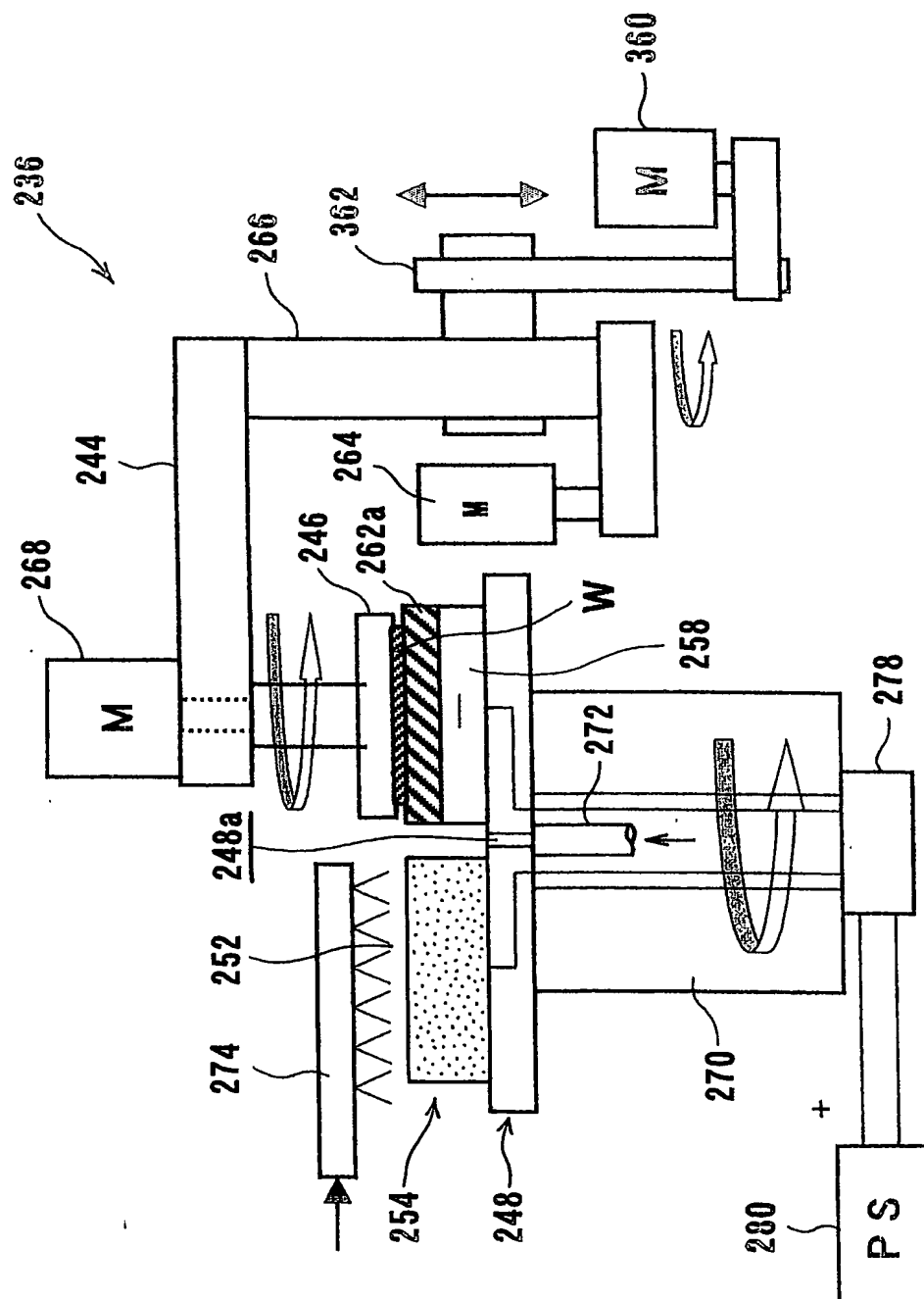
12/18

FIG. 13



13/18

FIG. 14



14/18

FIG. 15

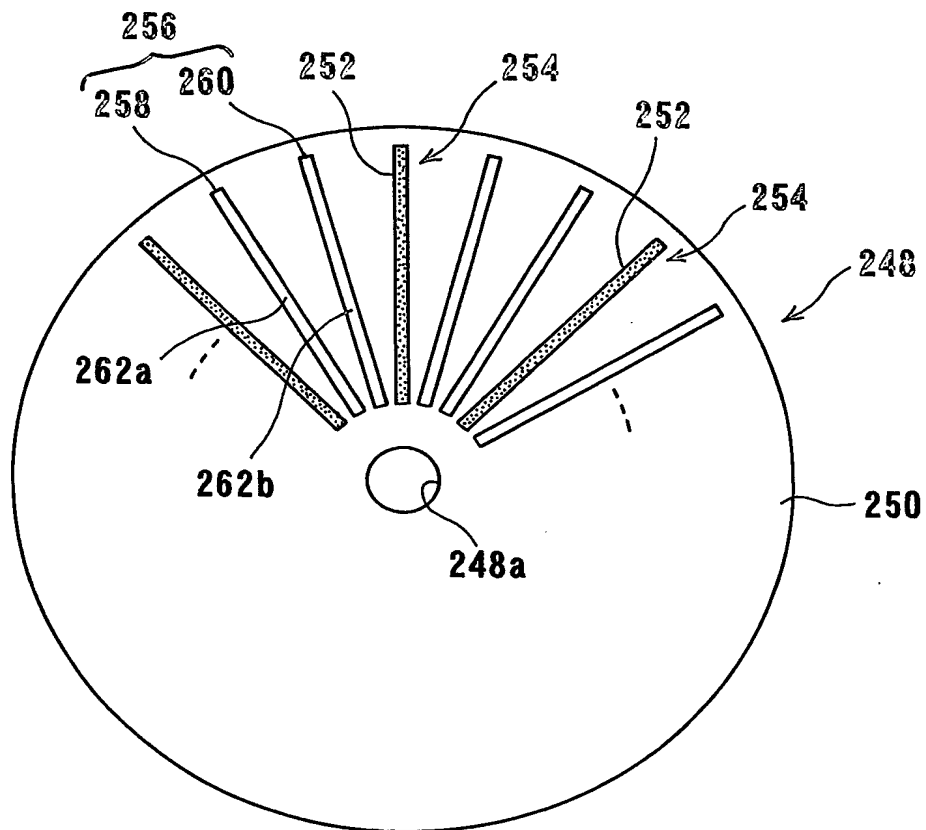
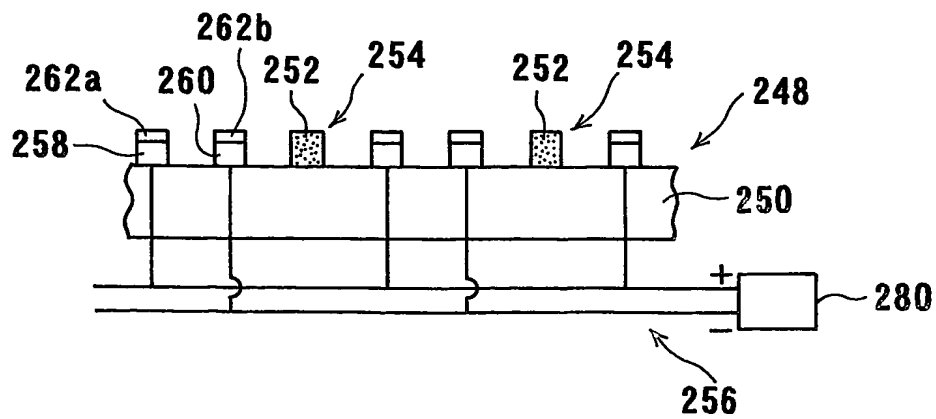


FIG. 16



15/18

FIG. 17

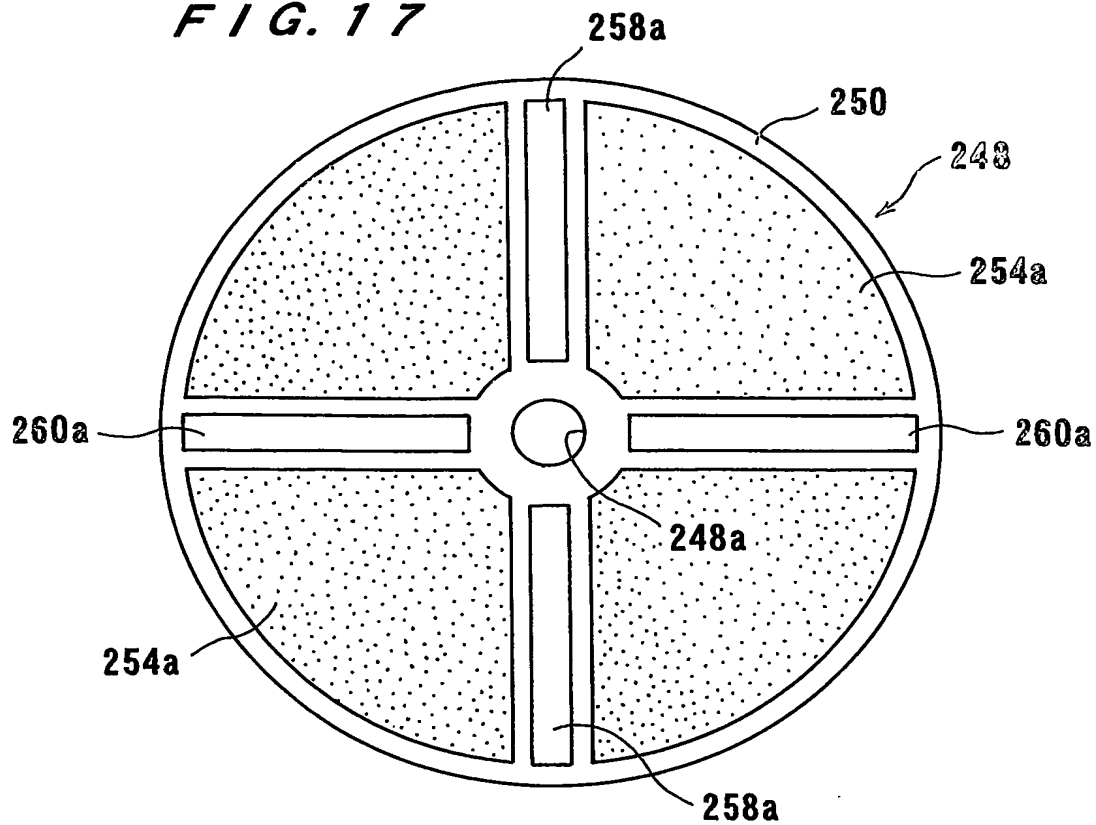
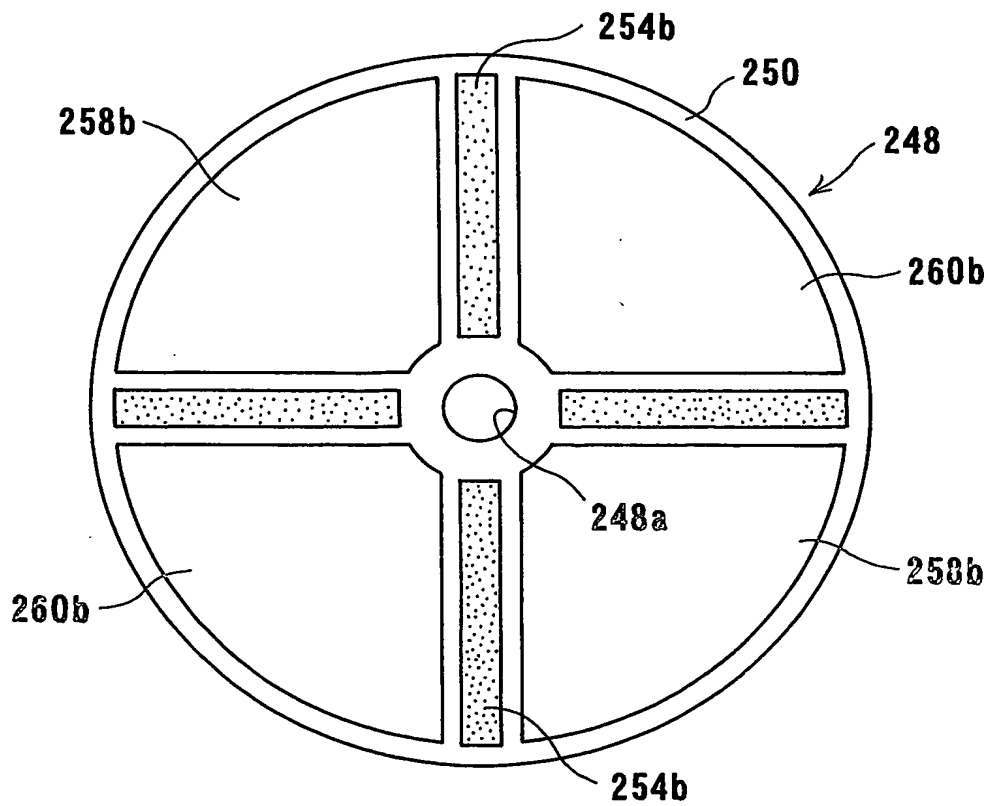


FIG. 18



16/18

FIG. 19

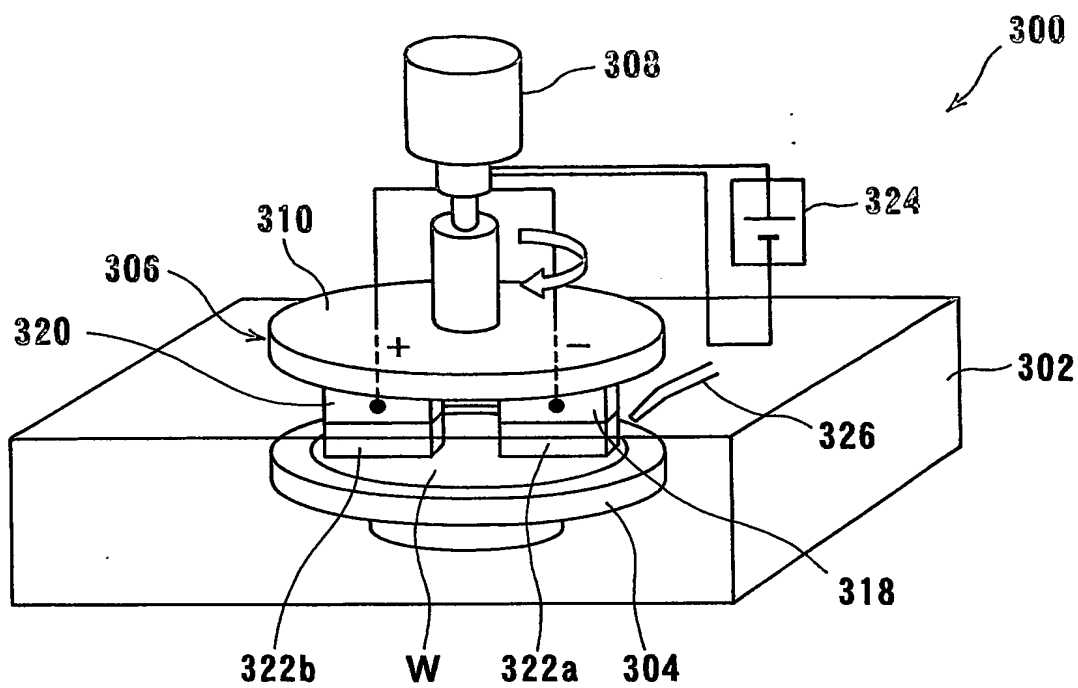
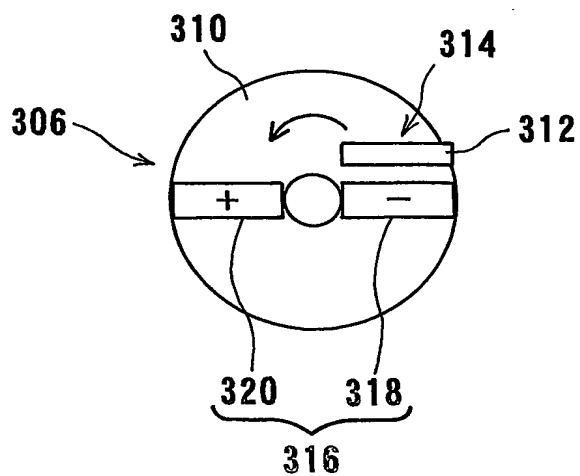


FIG. 20



17/18

FIG. 21

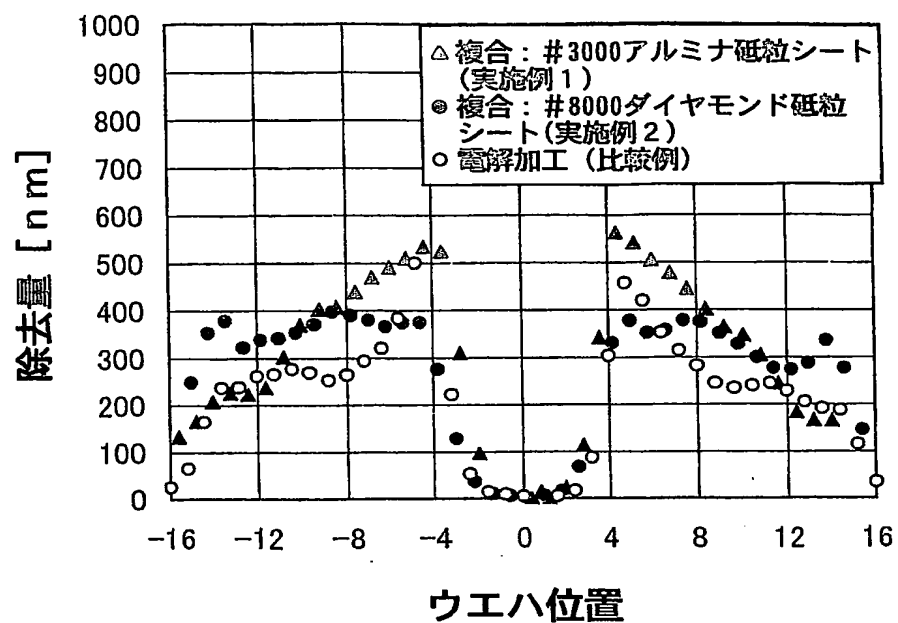


FIG. 22



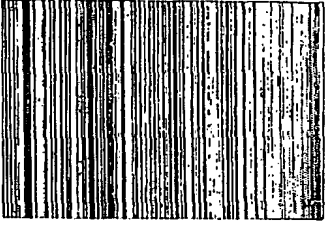
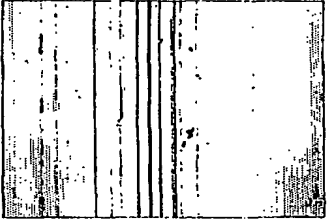
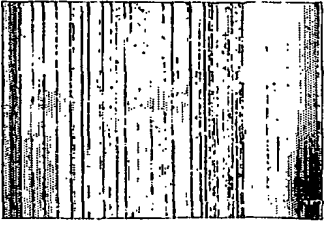

	複合電解加工
#3000 アルミナ砥粒 シート (実施例1)	
#8000 ダイヤモンド 砥粒シート (実施例2)	

FIG. 23

	固定砥粒研磨	研磨後電解加工
#3000 アルミナ砥粒 シート (実施例3)		
#8000 ダイヤモンド 砥粒シート (実施例4)		

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/003279

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ C25F3/00, C25F7/00, B23H5/08, H01L21/304, H01L21/306

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ C25F3/00, C25F7/00, B23H5/08, H01L21/304, H01L21/306

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-93761 A (Sony Corp.), 29 March, 2002 (29.03.02), & US 2002-70126 A1 & TW 503475 B	1-32
A	JP 2-95574 A (The Institute of Physical and Chemical Research), 06 April, 1990 (06.04.90), (Family: none)	1-32
A	JP 2002-292523 A (Ebara Corp.), 08 October, 2002 (08.10.02), & US 2002-20630 A1 & EP 1170083 A2 & CN 1380447 A	1-32

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
18 June, 2004 (18.06.04)

Date of mailing of the international search report
06 July, 2004 (06.07.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl¹ C25F3/00, C25F7/00, B23H5/08, H01L21/304, H01L21/306

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl¹ C25F3/00, C25F7/00, B23H5/08, H01L21/304, H01L21/306

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1926-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2002-93761 A (ソニー株式会社), 2002. 03. 29, & US 2002-70126 A1, & TW 503475 B	1-32
A	JP 2-95574 A (理化学研究所), 1990. 04. 06, (ファミリーなし)	1-32
A	JP 2002-292523 A (株式会社荏原製作所), 2002. 10. 08, & US 2002-20630 A1, & EP 1170083 A2, & CN 1380447 A	1-32

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

18. 06. 2004

国際調査報告の発送日

06. 7. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

大畑 通隆

4 R

9 4 4 3

電話番号 03-3581-1101 内線 3471